

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки: 27.04.04 Управление в технических системах
 Отделение школы (НОЦ): Отделение автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Псевдолинейный регулятор для объектов управления с запаздыванием
УДК 681.511.2:681.516.73

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	Дай Сюэсун		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин М. В.	К.Т.Н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суханов А.В.	К.Х.Н		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Скаковская Н.В.	К.Ф.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Алексеев Н. А.	–		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Пушкарев М.И.	К.Т.Н		
Руководитель ОАР ИШИТР	Леонов С.В.	К.Т.Н		

Томск – 2019 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ
по направлению 27.04.04 Управление в технических системах

Код результатов	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	профессиональные
P1	Применять глубокие естественнонаучные и математические знания для решения научных и инженерных задач в области анализа, синтеза, проектирования, производства и эксплуатации средств автоматизации и систем управления техническими объектами.
P2	Уметь обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации средств автоматизации и систем управления техническими объектами
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с разработкой технических систем управления с использованием аналитических методов и сложных моделей.
P4	Выполнять инновационные инженерные проекты по разработке программно-аппаратных средств автоматизированных систем различного назначения с использованием современных методов проектирования, систем автоматизированного проектирования, передового опыта разработки конкурентно способных изделий.
P5	Планировать и проводить теоретические и экспериментальные исследования в области проектирования аппаратных и программных средств автоматизированных систем с использованием новейших достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта. Критически оценивать полученные данные и делать выводы.
P6	Осуществлять авторское сопровождение процессов проектирования, внедрения и эксплуатации программно-аппаратных средств автоматизированных систем различного назначения.
P7	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной профессиональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий партнеров
P8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, активно владеть иностранным языком, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке.
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена и руководителя группы, в том числе междисциплинарной и международной, при решении инновационных инженерных задач.
P10	Демонстрировать личную ответственность и ответственность за работу возглавляемого коллектива, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения инновационной инженерной деятельности. Демонстрировать глубокие знания правовых, социальных, экологических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности
P11	Демонстрировать способность к самостоятельному обучению, непрерывному самосовершенствованию в инженерной деятельности, способность к педагогической деятельности.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки: 27.04.04 Управление в технических системах
 Отделение школы (НОЦ): Отделение автоматизации и робототехники
 Уровень образования: магистратура
 Период выполнения: осенний / весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2019 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
29.05.2019	Основная часть	65
15.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
22.05.2019	Социальная ответственность	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин М. В.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Пушкарев М. И.	к.т.н.		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки: 27.04.04 Управление в технических системах
Отделение школы (НОЦ): Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) _____ (Дата) Пушкарев М. И. (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8AM71	Дай Сюэсун

Тема работы:

Псевдолинейный регулятор для объектов управления с запаздыванием	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№1160/с от 14.02.2019 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2019 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Объект управления с запаздыванием. - ПИД - регулятор. - Псевдолинейный корректор с фазовым опережением. - Программные среды: MATLAB, MathCad, STEP 7. - Промышленный контроллер Siemens Simatic S7-300.
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор корректирующих устройств систем автоматического управления (линейных, нелинейных, псевдолинейных). 2. Исследование свойств псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением. 3. Разработка псевдолинейного регулятора для объектов с запаздыванием. 4. Исследование систем автоматического регулирования для объектов с запаздыванием с применением псевдолинейного регулятора. 5. Изучение промышленного микропроцессорного контроллера Siemens Simatic S7-300. 6. Изучение программного пакета STEP 7. 7. Создание программного обеспечения на базе контроллера Siemens Simatic S7-300. 8. Создание методического обеспечения для выполнения лабораторной работы.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Презентация в формате *.pptx на 20 слайдах</p>

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
Раздел	Консультант
Основная часть	Доцент ОАР ИШИТР, к.т.н. Скороспешкин М. В.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШБИП, к.ф.н. Скаковская Н. В.
Социальная ответственность	Ассистент ООД ШБИП Алексеев Н. А.
Английский язык	Доцент ОИЯ ШБИП, к.п.н. Сидоренко Т.В.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	26.02.2019
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин М. В.	к.т.н		26.02.2019

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	Дай Сюэсун		26.02.2019

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа		ФИО	
8AM71		Дай Сюэсун	
Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	Автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	27.04.04 Управление в технических системах

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Материально-технические ресурсы: установка для получения покрытий (1500000р); компьютер (35000р); энергетические ресурсы: электрическая энергия (567р); информационные ресурсы: научные журналы, монографии, учебники и статьи по теме исследований, (1500р); человеческие ресурсы: студент (инженер-дипломник), научный руководитель.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизации – 20%</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Социальные отчисления – 30% от ФЗП</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)</i>	1. <i>Анализ конкурентных технических решений</i>
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР</i>	2. <i>Определение этапов работ; определение трудоемкости работ; разработка графика Ганта</i>
3. <i>Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР</i>	3. <i>Определение затрат на проектирование</i>
4. <i>Составление бюджета инженерного проекта (ИП)</i>	4. <i>Определение капиталовложений в тепловую сеть</i>
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков</i>	5. <i>Определение эксплуатационных затрат; расчет интегрального показателя ресурсоэффективности</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений</i>
2. <i>Календарный план-график проведения работ по проектированию тепловой сети</i>
3. <i>Капиталовложения в тепловую сеть</i>
4. <i>Бюджет затрат на проектирование тепловой сети</i>
5. <i>Эксплуатационные ежегодные издержки</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП.	Скаковская Н.В.	к.ф.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	Дай Сюэсун		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8AM71	Дай Сюэсун

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	Автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	27.04.04 Управление в технических системах

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Целью магистерской диссертации является разработка, исследование и программная реализация псевдолинейного регулятора для объектов управления с запаздыванием.</p> <p>Работа направлена на повышение качества систем автоматического регулирования, в ходе которой исследуется псевдолинейный регулятор, состоящий из ПИД-регулятора и псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением. Данный регулятор повышает качество регулирования объектами с запаздыванием.</p> <p>Рабочая зона: ПК(Matlab, Mathcad, step 7, Wincc), контроллер Siemens Simatic S7-300.</p> <p>Область применения – Автоматизированные системы управления технологическими процессами.</p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Охрана труда для операторов и пользователей ПК. Требования безопасности во время работы. Соответствие рабочего места по требованиям и правила и нормы поведения на производстве согласно НТД (ГОСТ 12.2.032-78)</p> <p>Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. Соблюдение "Трудового кодекса Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.02.2018)</p>
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Выявленные вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – нарушение параметров микроклимата – повышение шума – недостаточное освещение – электромагнитные излучения <p>Анализ выявленных опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – опасность поражения электрическим током
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта ВКР и области его использования на ОС;

	<ul style="list-style-type: none"> – разработка решений по обеспечению экологической безопасности
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Выбор и описание возможных ЧС; типичная ЧС – пожар. <ul style="list-style-type: none"> – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Алексеев Н. А.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	Дай Сюэсун		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 165 с, 58 рисунков, 19 таблицы, 29 источников, 2 приложений, 20 слайдов мультимедийной презентации.

Ключевые слова: ПСЕВДОЛИНЕЙНОЕ КОРРЕКТИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО, ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ, КАЧЕСТВО РЕГУЛИРОВАНИЯ, ПРОГРАММНЫЙ ПАКЕТ MATLAB, КОНТРОЛЛЕР SIEMENS SIMATIC S7-300, ПРОГРАММНЫЙ ПАКЕТ STEP7.

Цель работы – разработка, исследование и программная реализация псевдолинейного регулятора для объектов управления с запаздыванием.

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы рассмотрены линейные, нелинейные и псевдолинейные корректирующие устройства. Произведен выбор псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением, проведено исследование его работы в составе системы автоматического регулирования (САР). Разработан, исследован и программно реализован псевдолинейный регулятор для объектов управления с запаздыванием. Исследование свойств корректирующих устройств и САР осуществлялось с применением программных пакетов Matlab и MathCad.

Программная реализация псевдолинейного регулятора для систем автоматического регулирования объектами с запаздыванием выполнена в программном пакете STEP 7 на языке FBD.

Результаты исследования показали эффективность разработанного псевдолинейного регулятора для систем автоматического регулирования объектами с запаздыванием.

Так же разработано методическое обеспечение в виде методических указаний для выполнения лабораторной работы.

Разработанное методическое обеспечение будет использовано в учебном процессе при изучении курса «Адаптивные системы управления» студентами, обучающимися по направлению 27.04.04 - Управление в

технических системах Томского политехнического университета.

Оглавление

Введение.....	13
1 Обзор корректирующих устройств автоматического регулирования.....	14
1.1 Линейные корректирующие устройства	15
1.2 Нелинейные корректирующие устройства	16
1.3 Псевдолинейные корректирующие устройства	18
1.3.1 Анализ некоторых систем коррекции	21
1.4 Выбор корректирующих устройств.....	27
2 Регуляторы для объектов с запаздыванием	29
2.1 Предиктор Смита.....	35
2.2 Регулятор Ресвика	36
3. Разработка и исследование систем управления объектами с запаздыванием в среде matlab.....	38
3.1. Работа в пакете прикладного программирования MatLab.....	38
3.2 Разработка и исследование САР с псевдолинейным регулятором в среде MatLab	40
3.3 Разработка и исследование САР с запаздыванием в среде MatLab	41
4 Структура лабораторного комплекса.....	50
4.1 Структурная схема лабораторного стенда	51
4.2 Программный пакет STEP7.....	52
5 Программно-методическое обеспечение лабораторного комплекса для исследования сар с запаздыванием с псевдолинейным регулятором.	55
5.1 Программное обеспечение лабораторного комплекса	55
5.1.1 Программ САР с КУ с запаздыванием на языке FBD	55
5.1.2 Мониторинг и симуляции системы	60
5.2 Методическое обеспечение	61
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	62
6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	63
6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	63
6.1.3 SWOT-анализ	66
6.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	67
6.3 Определение трудоемкости выполнения работ.....	68
6.4. Разработка графика проведения проекта	69

6.5 Бюджет затрат на проектирование	74
6.5.1 Расчет материальных затрат проекта	74
6.5.2 Основная заработная плата исполнителей проекта	75
6.5.3 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	76
6.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	77
6.5.5 Накладные расходы	79
6.5.6 Формирование затрат на проектирование	79
6.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	80
7 Социальная ответственность	83
7.1 Производственная безопасность	84
7.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования	84
7.1.2 Микроклимат	85
7.1.3 Шум	86
7.1.4 Недостаточная освещенность	87
7.1.5 Электромагнитные излучения	90
7.1.6 Электробезопасность	91
7.1.7 Психофизиологические факторы	93
7.2 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов (техника безопасности и производственная санитария)	94
7.3 Экологическая безопасность	95
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	96
7.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	100
Заключение	103
The Conclusion	104
Список использованных источников	105
Приложение А Раздел ВКР выполненный на иностранном языке	108
Приложение Б Методика изучения псевдолинейного регулятора для объектов управления с запаздыванием	121

Введение

Любые технические устройства, и в том числе системы автоматического регулирования и управления должны удовлетворять требованиям общетехнического характера, к которым можно отнести надежность, помехозащищенность, технологичность конструкции, удобство эксплуатации и другие. Среди них наиболее выделяются требования по точности регулирования и управления, следовательно, основной задачей при проектировании систем автоматического регулирования (САР) является выбор структуры и параметров САР, элементов и методов их технической реализации, дающих возможность реализации высокого качества регулирования, точности и быстродействия.

Зачастую при проектировании систем автоматического управления дается предположение, что известен характер возмущений, влияющих на САР, при этом параметры системы при рабочих условиях, не изменяются либо изменяются в малых пределах. На самом же деле существует возможность того, что при процессе функционирования системы характеристики объекта управления (ОУ) и параметры внешней среды, оказывающие влияние на ОУ, непредвиденным образом изменяются, что приводит к отклонению процесса управления от предполагаемого, а также ухудшению показателей качества.

На сегодняшний день для повышения качества систем автоматического регулирования широко применяются специальные корректирующие устройства, которые позволяют менять характеристики САР в соответствии с предъявляемыми к ним требованиями. Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка, исследование и программная реализация псевдолинейного регулятора для систем автоматического регулирования объектами с запаздыванием. Регулятор разработан на основе ПИД-регулятора и псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением. Работа направлена на повышение качества систем автоматического регулирования объектами с запаздыванием, при изменении параметров объекта управления в определенных пределах.

1 ОБЗОР КОРРЕКТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Улучшение качества процесса регулирования это не только повышение точности в типовых режимах, но и изменение динамических свойств системы регулирования в целях того, чтобы получить необходимый запас устойчивости и быстродействия. Основное значение этой проблемы есть обеспечение запаса устойчивости.

В условиях решения задач повышения запаса устойчивости разрабатываемой системы автоматического регулирования, необходимо предварительно сделать попытку изменить ее параметры рациональным образом (коэффициенты передачи отдельных звеньев, постоянные времени и т.п.) так, чтобы удовлетворить требованиям качества регулирования, определяющиеся критериями качества. При неосуществимости этой задачи в условиях имеющейся системы необходимо изменить (скорректировать) ее структуру [3].

Коррекцией систем автоматического управления (САУ) – это изменение их динамических свойств (характеристик) для того, чтобы обеспечить требуемый запас устойчивости, повышение динамической точности и показателей качества переходного процесса. Коррекция реализуется подключением в систему дополнительных элементов – корректирующих устройств [4], изменяющих динамику полной системы в необходимом направлении. К корректирующим устройствам можно отнести корректирующие звенья, которые представляют собой динамические звенья с определенными передаточными функциями [3].

Основной задачей корректирующего устройства является улучшение точности системы и качества переходных процессов. Тем не менее, в то же самое время путем введения корректирующих устройств можно решить и общую задачу, а именно сделать систему устойчивой, в случае если она была неустойчивой без них, а впоследствии достичь необходимого качества процесса регулирования [5] .

В случае использования корректирующих звеньев либо для получения устойчивости системы регулирования, либо для повышения ее запаса устойчивости, они именуются соответственно, либо демпфирующими, либо стабилизирующими звеньями. То есть звенья сглаживают колебания, возникающие в данной системе регулирования. Термин «корректирующие звенья» также используется и для звеньев, применяющихся в системе для изменения статических и динамических свойств [3].

Все корректирующие устройства, которые применяются в САУ, классифицируются на линейные и нелинейные корректирующие устройства.

1.1 Линейные корректирующие устройства

Линейные корректирующие устройства имеют как достоинства, так и недостатки. К ним можно отнести жесткую зависимость между амплитудными и фазовыми частотными характеристиками. В качестве примера можно рассмотреть дифференцирующие фазопережающие цепи, которые создают положительный сдвиг, но вместе с тем приносят ослабление в области низких частот, т. е. в области спектра полезного сигнала. Следовательно, можно наблюдать низкую помехоустойчивость дифференцирующих цепей. Необходимо, чтобы корректирующие устройства реализовывали опережение по фазе без изменения амплитудной характеристики, ослабляли высокие частоты без изменения фазовой характеристики, обеспечивали опережение по фазе и одновременно подавляли высокие частоты. Данный ряд задач решается при помощи нелинейных корректирующих устройств.

Линейные корректирующие устройства имеют и другие недостатки, такие как ограниченная возможность в приобретении высоких показателей качества в автоматических системах. То есть, в случае если в линейной системе для повышения быстродействия (уменьшения времени установления) t_y увеличивать коэффициент усиления разомкнутой системы k_p , то это приводит к уменьшению запаса устойчивости, увеличению колебательности

переходного процесса. Сказанное выше проиллюстрировано на рисунке 1, где приведены кривые 1 и 2 переходных процессов линейной САУ при коэффициентах усиления k_{p1} и k_{p2} соответственно ($k_{p2} > k_{p1}$).

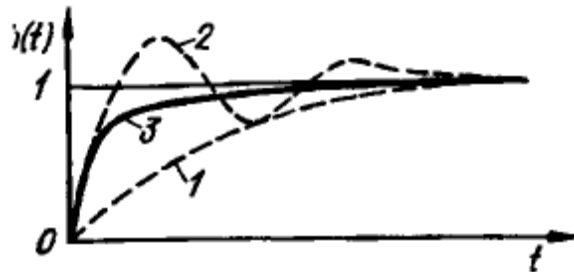


Рисунок 1 – Переходные процессы САУ при линейной (1 и 2) и нелинейной (3) коррекции.

Использование линейных корректирующих устройств может способствовать повышению в некоторых пределах значения коэффициента усиления системы, но при этом нет возможности снять указанное противоречие и необходимость компромиссного решения в случае выбора коэффициента усиления системы и настройки корректирующего устройства. Однако существует возможность устранить данное противоречие при помощи применения нелинейных корректирующих устройств, которые изменяют собственное влияние на систему в зависимости от ошибки системы.

1.2 Нелинейные корректирующие устройства

В результате использования нелинейной коррекции возможно получение желаемого процесса, пример которого изображен на рисунке 1 кривой 3. Из рисунка видно, сочетание полезных свойств процессов 2 и 1: начальная часть процесса 3 совпадает с процессом 2 линейной системы, благодаря чему обеспечивается большое быстродействие системы, а окончание процесса 3 подобно окончанию процесса 1, т. е. является монотонным. Достижение данного процесса возможно при изменении коэффициента усиления разомкнутой системы, k_p в зависимости от величины ошибки θ . При больших θ значение k_p должно быть большим,

чтобы обеспечить быстрое уменьшение ошибки (начальный участок кривой 3), а по мере уменьшения θ значение k_p должно уменьшаться для завершения переходного процесса без перерегулирования. Реализация такого изменения k_p возможна при помощи простейшего последовательного нелинейного корректирующего устройства (рисунок 2, а). При больших значениях напряжения ошибки u_θ нелинейное сопротивление R_1 мало и поэтому коэффициент усиления цепи $k_1 = R_2 / (R_1 + R_2)$ больше. По мере уменьшения u_θ нелинейное сопротивление R_1 увеличивается, а коэффициент усиления k_1 уменьшается. Примерный график зависимости k_1 от u_θ отображен на рисунке 2, б. По идентичному графику далее изменяется коэффициент усиления системы k_p . Недостаток коррекции при помощи использования данного корректирующего устройства состоит в том, что оно изменяет лишь k_p системы, не компенсируя при этом вредное влияние инерционностей ее элементов. Из-за этого получаются малые значения k_p в установившихся динамических режимах, следовательно, большие динамические ошибки системы.

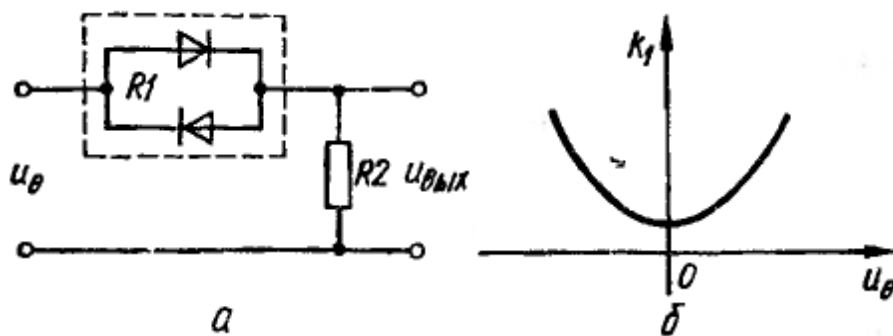


Рисунок 2 – Последовательное нелинейное корректирующее устройство (а) и его характеристика $k_1 = f(u_\theta)$ (б).

При помощи нелинейных корректирующих устройств есть возможность удовлетворить постоянно повышающимся требованиям к показателям качества САУ. Нелинейную коррекцию следует рассмотреть в качестве общего средства коррекции, нежели как линейную коррекцию, относящуюся к частному случаю нелинейной коррекции. При помощи

нелинейных корректирующих устройств существует возможность решить задачу компенсации вредных естественных нелинейностей. При этом следует подчеркнуть, что нелинейная коррекция есть наиболее специализированная коррекция в части внешних воздействий. Существует вероятность, что нелинейная коррекция, которая выбрана для определенного класса внешних воздействий, окажется неэффективной при ином классе внешних воздействий. Следовательно, в случае широкого диапазона внешних воздействий лучшей становится линейная коррекция. Отмечается, что общей методики синтеза нелинейных корректирующих устройств не существует, поэтому необходимо прибегнуть к использованию частного приема и схем нелинейных корректирующих устройств [4] .

1.3 Псевдолинейные корректирующие устройства

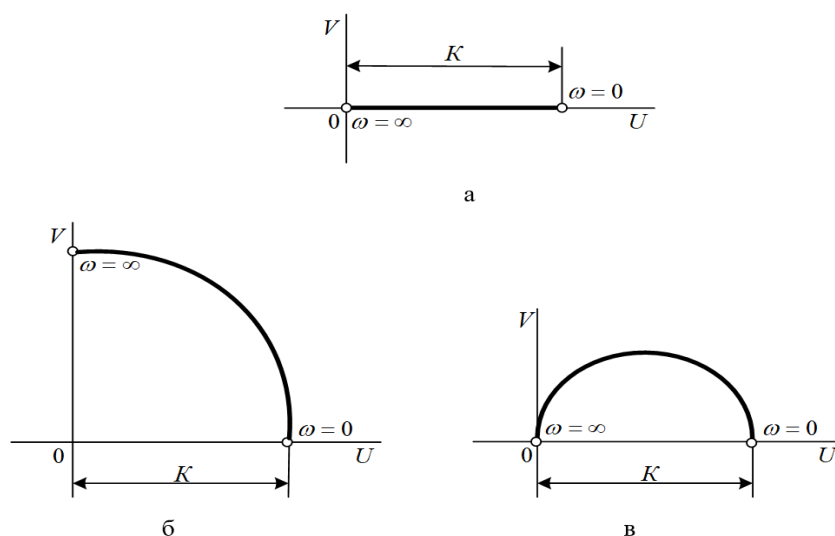
Для целей анализа и синтеза нелинейных систем широко применяются частотные методы. При таком подходе из большого разнообразия схем нелинейных устройств, пригодных для использования в цепях коррекции систем автоматического управления, может быть выделен некоторый класс нелинейных корректирующих устройств, в которых равнозначные амплитудно-фазовые характеристики не зависят от амплитуды входящего сигнала. Данное обстоятельство позволяет рассмотреть нелинейные корректирующие устройства установленного класса как псевдолинейные. При этом подразумевается отсутствие в таких устройствах жесткой взаимосвязи между фазовой и амплитудной характеристиками. Отмеченный признак применяется в условиях разработки схем псевдолинейных корректирующих устройств.

С целью формирования надлежащих запасов устойчивости при регулировании задач стабилизации замкнутых систем управления необходимо не только уклониться годографом амплитудно-фазовой частотной характеристики разомкнутой системы от охвата критической точки $(-1, 0)$, но

и создать условия для его удаления от данной точки. Это достигается применением соответствующих корректирующих устройств.

Корректирующее устройство, в котором присутствуют один из трех видов частотных характеристик, изображенных на рисунке 3, которые в свою очередь делают возможным подавление усиления при росте частоты без отклонения фазы (рисунок 3, а); нарастание фазового опережения с ростом частоты без колебания усиления (рисунок 3, б); падение усиления, которое сопровождается повышением фазового опережения при росте частоты (рисунок 3, в), было бы в наибольшей степени целесообразным корректирующим устройством.

Посредством применения корректирующего устройства, которое обладает теми или иными из указанных частотных характеристик, возможно улучшение относительной устойчивости системы автоматического управления, иначе говоря, повышения запасов устойчивости по фазе и амплитуде.



а - подавление усиления при росте частоты без отклонения фазы;

б - нарастание фазового опережения при росте частоты без колебания усиления;

в - падение усиления, которое сопровождается повышением фазового опережения с ростом частоты.

Рисунок 3 - Изображение желаемых амплитудно-фазовых характеристик корректирующего устройства.

Установившаяся реакция нелинейного звена на входной синусоидальный сигнал

$$x = A \cdot \sin(\omega t) \quad (1)$$

(вынужденные колебания) обычно имеют несинусоидальную форму

$$y = F(x) \quad (2)$$

Аппроксимативное понятие вынужденных колебаний, а именно регистрация лишь базовой синусоиды (далее первой гармоники) в случае разложения в ряд Фурье, равнозначно гармонической линеаризации нелинейности. Руководствуясь сказанным выше, существует возможность применить созданный для линейных систем частотный аппарат с целью нахождения первой гармоники вынужденных колебаний величины (2) .

Рассмотрим эквивалентный целостный коэффициент усиления или эквивалентную АФХ нелинейного звена

$$J(A, \omega) = a(A, \omega) + j \cdot b(A, \omega) \quad (3)$$

где $a(A, \omega)$ и $b(A, \omega)$ - зависящие от амплитуды и частоты входного сигнала коэффициенты гармонической линеаризации.

Формулу (3) также можно представить в виде:

$$J(A, \omega) = q(A, \omega) e^{j\mu(A, \omega)} \quad (4)$$

где $q(A, \omega)$ - эквивалентная амплитудная характеристика нелинейного звена

$$q(A, \omega) = \sqrt{[a(A, \omega)]^2 + [b(A, \omega)]^2} \quad (5)$$

где $\mu(A, \omega)$ - эквивалентная фазовая характеристика нелинейного звена.

$$\mu(A, \omega) = \arctg \frac{b(A, \omega)}{a(A, \omega)} \quad (6)$$

1.3.1 Анализ некоторых систем коррекции

Нелинейный фильтр с амплитудным ослаблением.

Нелинейный фильтр, который допускает получение падения амплитуды при росте частоты без отклонения фазы (рисунок 3, а), может быть выполнен по схеме, показанной на рисунке 4.

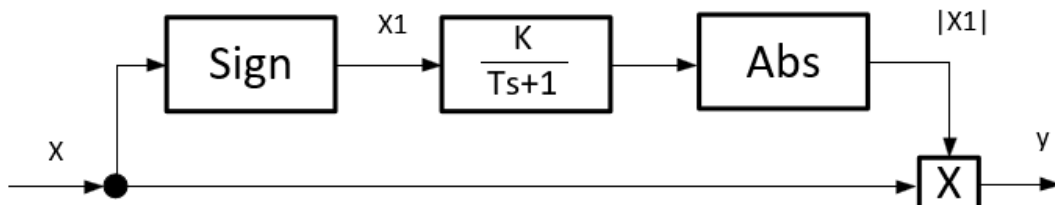


Рисунок 4 -схема нелинейного фильтра с амплитудным подавлением

Форма сигналов в характерных точках фильтра показана на рисунке 5.

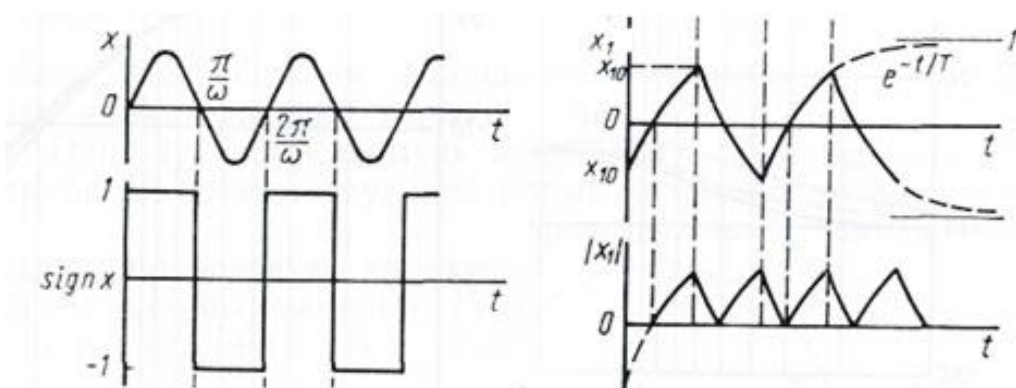


Рисунок 5- Форма сигналов в характерных точках нелинейного фильтра с амплитудным подавлением в случае синусоидального входящего сигнала

Таким образом, через анализ можем считать сигнал на выходе блока сигнатуры синусоидальным, то, произведя вычисления, аналогичные проделанным выше, получим следующие упрощенные формулы для a и b .

$$a = \frac{k \cdot 8}{\pi^2 \sqrt{1 + \omega^2 T^2}} \left(1 + \frac{1}{3} \cos 2\theta\right) \quad (7)$$

$$b = \frac{k \cdot 8}{\pi^2 \sqrt{1 + \omega^2 T^2}} \left(\frac{1}{3} \sin 2\theta\right) \quad (8)$$

где $\theta = -\arctg(\omega T)$

Логарифмические частотные характеристики фильтра $[q(\omega)]$ и $[\mu(\omega)]$ при вычислении a и b .

Частотные характеристики корректирующего устройства при различных значениях параметра T амплитудного канала вычисляются по уже известным формулам (7) и (8), после того как найдены коэффициенты гармонической линеаризации.

Логарифмическая амплитудная характеристика определяется по формуле:

$$L(\omega) = 20 \cdot \log \sqrt{a^2 + b^2} = 20 \cdot \log A(\omega) \quad (9)$$

В программном пакете MathCad были построены семейства ЛАЧХ и ФЧХ при значениях параметра T амплитудного канала $T = 0 \dots 10$ корректирующего устройства и при постоянном значении коэффициент K .

$$T = [0, 0.01, 0.1, 0.5, 0.8, 1, 2, 4, 6, 8, 10] \quad K=1$$

Коэффициенты гармонической линеаризации и графики ЛАЧХ и ФЧХ с амплитудным подавлением показаны на рисунке 6, 7.

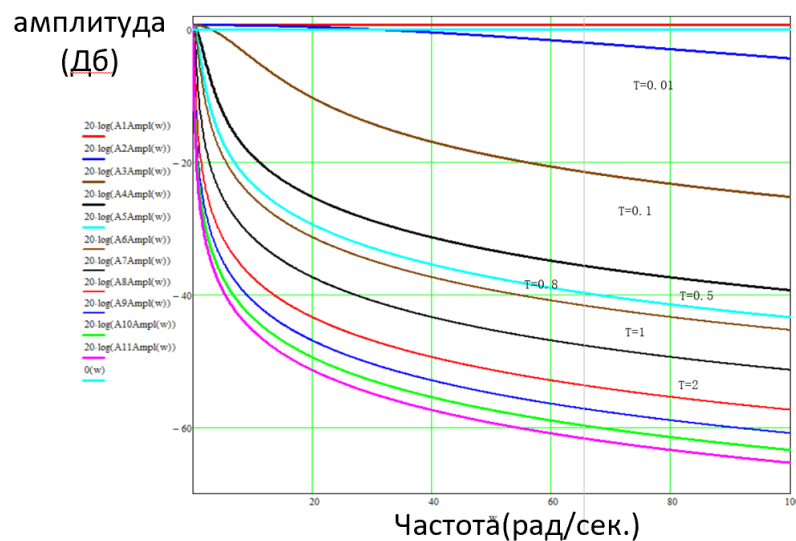


Рисунок 6 – Семейство ЛАЧХ КУ с амплитудным подавлением при разных значениях параметра T

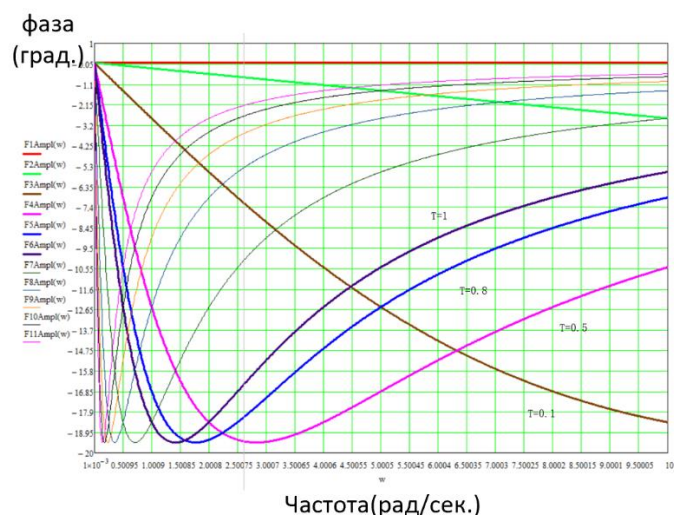


Рисунок 1.7 - Семейство ФЧХ КУ с амплитудным подавлением при разных значениях параметра T

Нелинейный фильтр с фазовым опережением.

Коррекция создает фазовое опережение без ослабления амплитуды.

Полученная схема приведена на рисунке 8.

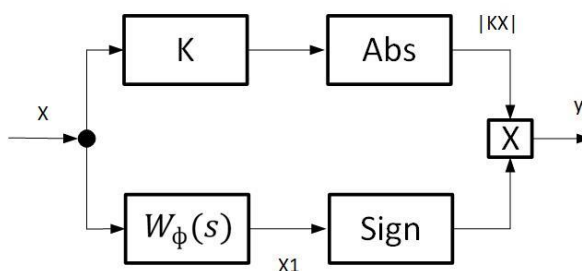
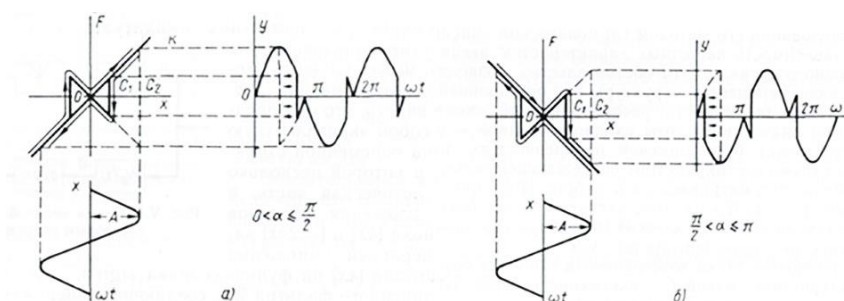


Рисунок 8 - схема нелинейного фильтра с фазовым опережением

Аналогичным образом на вид характеристики нелинейности влияет изменение частоты и при неизменных параметрах линейного фильтра. Нелинейные характеристики представляет на рисунке 9.



a — при фазовом опережении до 90° ;

b — при фазовом опережении от 90° до 180°

Рисунок 9 - Нелинейные характеристики

Если в схеме используется линейный фильтр с передаточной функцией.

$$W(s) = \frac{T_1}{T} \cdot \frac{Ts + 1}{T_1s + 1} \quad (10)$$

То создаваемое им опережение

$$\alpha = \arctg \frac{\omega T(1 - \nu)}{1 + \omega^2 T^2 \nu} \quad (11)$$

где через ν обозначено отношение $\frac{T}{T_1}$.

Тогда, получаем для них следующие выражения:

$$a = \frac{\kappa}{\pi} (\pi - 2\alpha + \sin 2\alpha) \quad (12)$$

$$b = \frac{\kappa}{\pi} (1 - \cos 2\alpha) \quad (13)$$

Частотные характеристики корректирующего устройства при различных значениях параметра T фазового канала вычисляются по уже известным формулам (12) и (13), после того как найдены коэффициенты гармонической линеаризации.

В программном пакете MathCad были построены семейства ЛАЧХ и ФЧХ при значениях параметра TI фазового канала $TI = 1 \dots 100$ корректирующего устройства и при постоянном значении коэффициент K и T .

$$K=1, T=0.1, TI = [100, 30, 10, 5, 1]$$

Коэффициенты гармонической линеаризации и графики АЧХ и ФЧХ с амплитудным подавлением показаны на рисунке 10, 11.

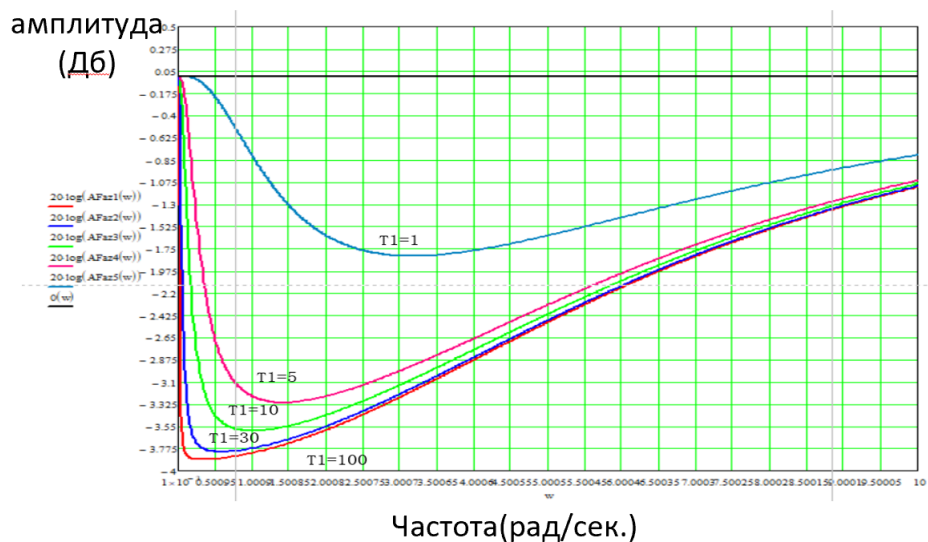


Рисунок 10 - Семейство ЛАЧХ КУ с фазовым опережением при разных значениях параметра $T1$

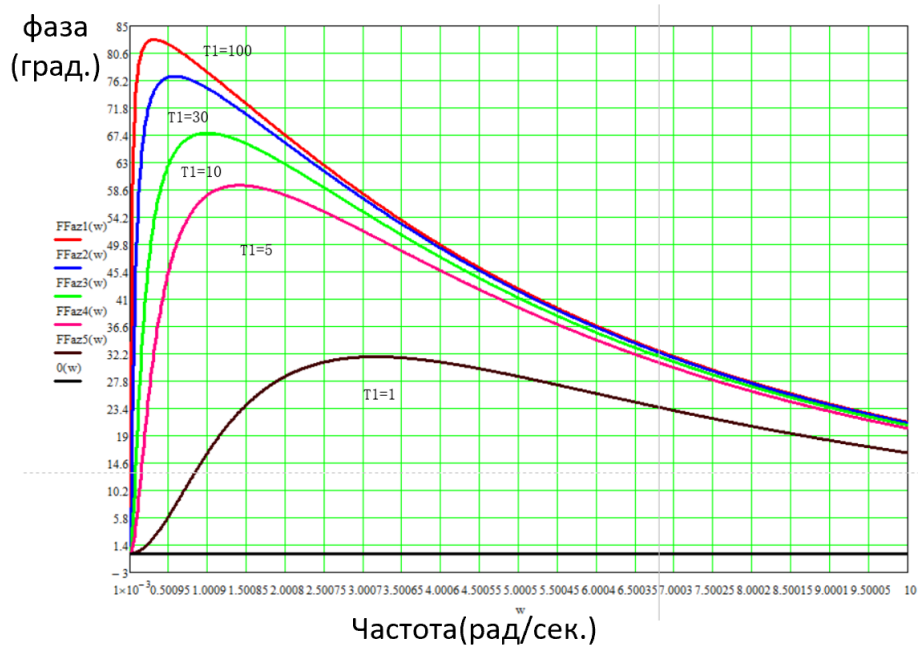


Рисунок 11 - Семейство ФЧХ КУ с фазовым опережением при разных значениях параметра $T1$

Нелинейный фильтр с отдельными каналами для амплитуды и фазы.

Схема нелинейной коррекции (рисунок.12) способствует получению различных амплитудно-фазовых соотношений, а именно условно автономно формировать амплитудную и фазовую характеристики нелинейного фильтра.

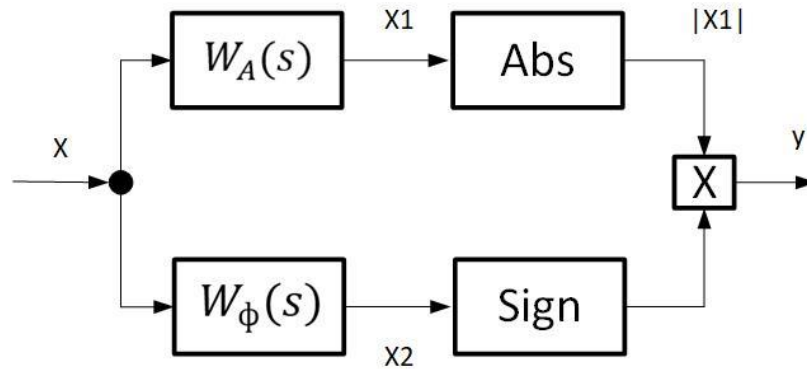


Рисунок 12 – схема нелинейного фильтра с амплитудными и фазовыми характеристиками

В случае если линейный фильтр в фазовой области обладает передаточной функцией вида (9), а в амплитудной области использован линейный фильтр с передаточной функцией:

$$W_A(s) = \frac{k}{T_2 s + 1} \quad (14)$$

То, обозначая отношение $\frac{T_2}{T}$ через γ , а $\frac{T_1}{T}$ через ν , как и раньше,

выражения для нахождения a и b можно выразить в виде:

$$a = \frac{k}{\pi^2 \sqrt{1 + \omega^2 T^2}} [(\pi - 2\alpha - 2\theta) \cos \theta + \sin \theta + \cos \alpha \sin(\alpha + \theta) + \sin \alpha \cos(\alpha + \theta)] \quad (15)$$

$$b = \frac{k}{\pi^2 \sqrt{1 + \omega^2 T^2}} [(2\theta - 2\alpha - \pi) \sin \theta + \sin \theta \sin 2\alpha - \cos \theta \cos 2\alpha] \quad (16)$$

где θ - фазовое запаздывание, вносимое фильтром $W_A = \arctg(\omega \gamma T)$

α - фазовое опережение, создаваемое фильтром определяется выражением .

Частотные характеристики корректирующего устройства при различных значениях параметра T фазового канала вычисляются по уже известным формулам (15) и (16), после того как найдены коэффициенты гармонической линеаризации.

В программном пакете MathCad были построенные семейства ЛАЧХ и ФЧХ при значениях параметра $T1$ фазового канала $T1 = 0.01 \dots 5$ корректирующего устройства и при постоянном значении коэффициент K , T и $T2$.

$$T=10, T2=1, K=1, T1 = [0.01, 0.1, 0.5, 1, 2.5, 5]$$

Коэффициенты гармонической линейаризации и графики ЛАЧХ и ФЧХ с амплитудным подавлением показаны на рисунке 13, 14.

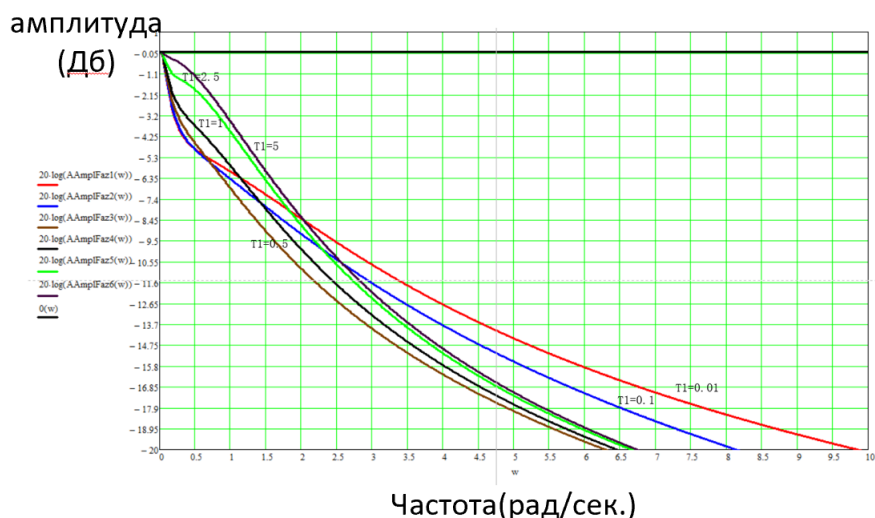


Рисунок 13 - Семейство ЛФЧХ КУ с отдельными каналами для амплитуды и фазы при различных значениях параметра T_2

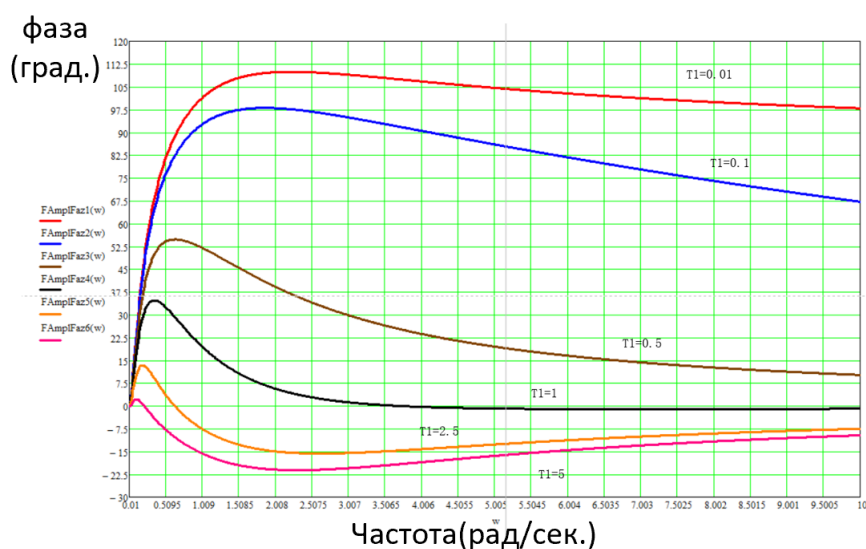


Рисунок 14 - Семейство ФЧХ КУ с отдельными каналами для амплитуды и фазы при различных значениях параметра T_2

1.4 Выбор корректирующих устройств

Так как недостатком линейных корректирующих устройств является жесткая зависимость между амплитудными и фазовыми частотными характеристиками, нужно произвести выбор корректирующие устройства,

который позволяет сформировать амплитудную и фазовую частотные характеристики независимо друг от друга.

В данной работе в качестве корректирующего устройства, на основе которого была разработана система управления, выбрано псевдолинейное корректирующее устройство с фазовым опережением. Структурная схема КУ приведена выше на рисунке 8.

В состав выбранного корректирующего устройства входят линейный фильтр: в фазовом канале апериодическое звено первого порядка:

$$W_A(s) = \frac{Ts + 1}{T_1s + 1} \quad (17)$$

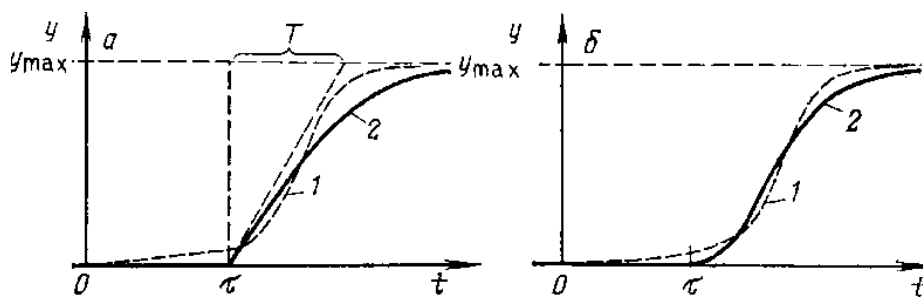
Улучшение качества регулирования САР осуществляется изменением параметра T и T_1 линейного элемента $W_A(s)$.

2 РЕГУЛЯТОРЫ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Большинство технологических объектов характеризуется наличием чистого запаздывания в каналах регулирования. Запаздывание, возникающее при протекании потока вещества по длинным трубопроводам, носит название транспортного запаздывания. Запаздывание возможно и в результате использования в системе регулирования периодически действующих приборов или регуляторов – таких, как газовый хроматограф или цифровая вычислительная машина, включенная в цепь обратной связи.

Запаздывание – это свойство объекта изменять регулируемую величину не сразу после возмущения, а через некоторый промежуток времени – время запаздывания τ (сек).

Многоемкостной объект с близкими по величине постоянными времени (например, тарельчатые аппараты) или объекте распределенными параметрами (трубчатые или насадочные аппараты) характеризуется переходными функциями с затянутым начальным участком (рисунок. 15), когда выходная координата практически не изменяется.



- 1 - многоемкостный объект; 2 – объект аппроксимация;
а - одностепенным звеном с приведенным запаздыванием;
б - двухстепенным звеном с приведенным запаздыванием;
 τ - времени запаздывания; T - постоянная времени

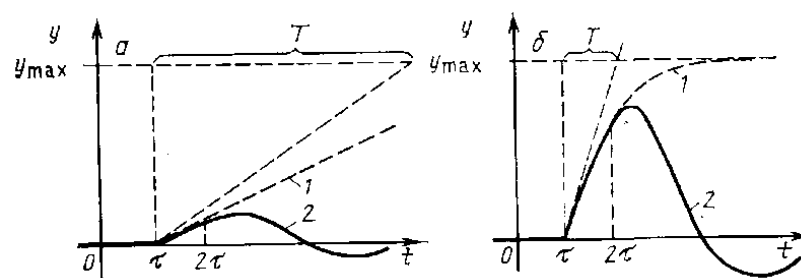
Рисунок 15 -Переходные функции многоемкостных объектов и их аппроксимация

В этом случае говорят о приведенном (эффективном) запаздывании, которое находят путем аппроксимации объекта одно- или двухстепенным

звеном с чистым запаздыванием. Многоемкостной объект с близкими по величине постоянными времени (например, тарельчатые аппараты) или объекте распределенными параметрами (трубчатые или насадочные аппараты) характеризуется переходными функциями с затянутым начальным участком (рисунок 15), когда выходная координата практически не изменяется. В этом случае говорят о приведенном (эффективном) запаздывании, которое находят путем аппроксимации объекта одно- или двухемкостным звеном с чистым запаздыванием.

Из-за значительного чистого запаздывания в объекте автоматизации существенно снижается качество регулирования при использовании обычных промышленных регуляторов.

Даже при оптимальных настройках регуляторов качество процессов регулирования тем хуже, чем больше и само запаздывание, и его отношение к постоянной времени объекта. Очевидно, на интервале 2τ , пока регулирующее воздействие еще не сказывается на выходе объекта, процесс регулирования совпадает с переходной функцией объекта. При этом динамическая ошибка регулирования не может быть меньше, чем значение выхода апериодического звена при $t = 2\tau$ (рисунок 16).



1 — переходная функция объекта; 2 — процесс регулирования

Рисунок 16 - Графики процессов регулирования при различных значениях отношения

В практике регулирования объектов с запаздыванием принято считать, что если отношение τ/T превышает 0,2, то при менение обычной непрерывной АСР со стандартным регулятором не обеспечит удовлетворительного качества

регулирования. В предельном случае – для усилительного звена с чистым запаздыванием (т. е. $T = 0$) – динамическая ошибка принимает максимально возможное значение – $k x$ (где x – ступенчатое возмущение). Максимальный эффект, который может обеспечить в этом случае идеальная система регулирования, – сведение к нулю ошибки регулирования за время 2τ . Реальный ПИ-регулятор, настроенный на заданную степень затухания, переходного процесса, может справиться с этой задачей за время, приблизительно равное $(5-6) \tau$ (рисунок 17).

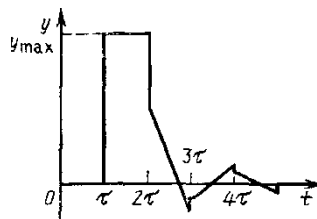
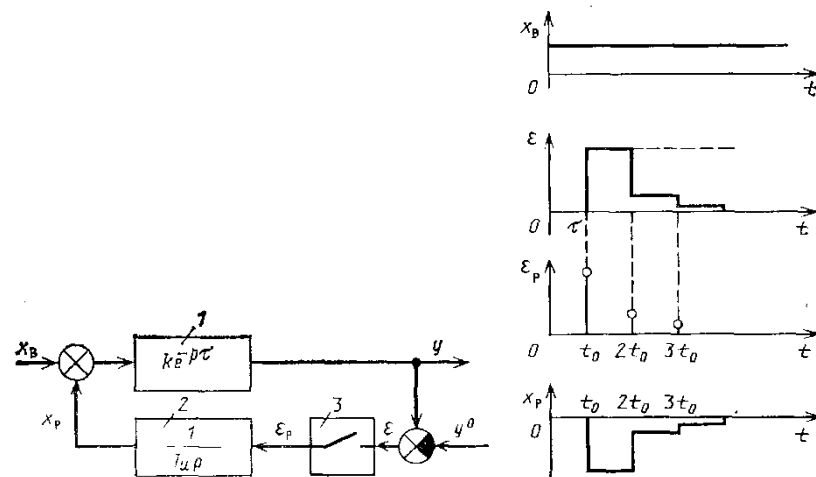


Рисунок 17 -Процесс регулирования звена чистого запаздывания ПИ-регулятором

Примерно такой же эффект дает импульсное регулирование, когда регулятор подключают к объекту периодически (с периодом $t_0 > \tau$) на небольшой отрезок времени. При этом на объект подается регулирующее воздействие, пропорциональное ошибке. Оно остается постоянным до следующего момента включения регулятора, когда проявится эффект от предыдущего воздействия.

При правильном выборе интервала t_0 можно добиться некоторого уменьшения времени переходного процесса, однако значения интегральных критериев качества остаются приблизительно такими же, как и при непрерывном регулировании. На рисунке 18 приведены структурная схема и графики переходных процессов в импульсной АСР.



1 — объект; 2 — регулятор; 3 — импульсный элемент

Рисунок 18 - Структурная схема АСР и графики переходных процессов при импульсном регулировании звена чистого запаздывания

В тех случаях, когда к качеству переходных процессов в системе регулирования предъявляют высокие требования, целесообразно использовать специальные регуляторы или алгоритмы, обеспечивающие компенсацию чистого запаздывания. Примером такого регулятора является регулятор Смита [5]. Он представляет собой замкнутую систему, состоящую из обычного регулятора и модели объекта, включенной в линию обратной связи к регулятору (рисунок 19).

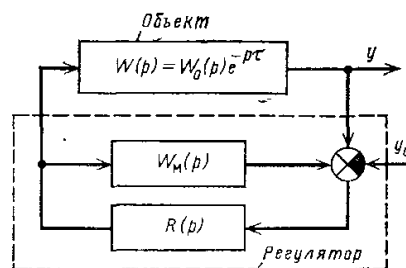


Рисунок 19 - Структурная схема АСР с регулятором Смита

Уравнение модели объекта выводится из условия, чтобы желаемая передаточная функция объекта по каналу регулирования не содержала звена чистого запаздывания. Представим истинную передаточную функцию объекта в виде произведения

$$W(p) = W_0(p)e^{-\rho\tau} \quad (18)$$

Здесь $W_0(p) = B(p) / A(p)$ – дробно рациональная функция. Тогда желаемая передаточная функция будет равна $W_0(p)$. Условие компенсации запаздывания запишется в виде равенства

$$W_0(p)e^{-\rho\tau} + W_m(p) = W_0(p) \quad (19)$$

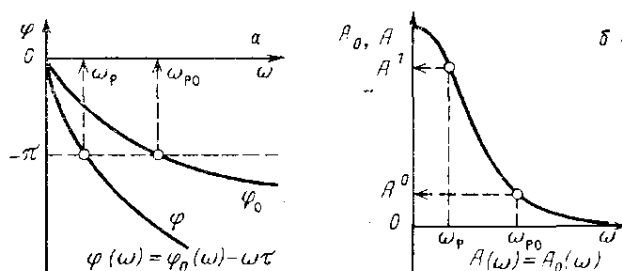
Откуда

$$W_m(p) = W_0(p)(1 - e^{-\rho\tau}) \quad (20)$$

В этом случае характеристическое уравнение разомкнутой системы имеет вид:

$$1 - W_0(p)R(p) = 0. \quad (21)$$

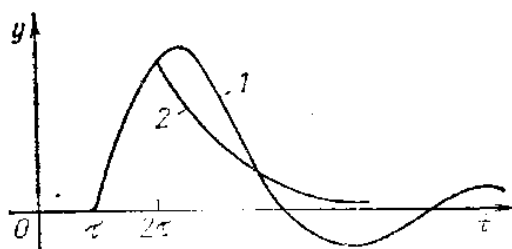
Следовательно, при одних и тех же параметрах настройки регуляторов запас устойчивости АСР с регулятором Смита выше, чем обычных АСР. Это означает, что при одинаковом запасе устойчивости АСР для регулятора Смита можно принять более высокую рабочую частоту и больший коэффициент усиления, что обеспечит лучшее качество регулирования (рисунок 20).



a — фазо-частотные характеристики объекта; *б* — амплитудно-частотные характеристики.

Рисунок 20 - К расчету настройки П-регулятора для объекта без запаздывания и с запаздыванием

Для сравнения на рисунке 21 приведены процессы регулирования одного и того же объекта ПИ-регулятором и регулятором Смита.



1 — с ПИ-регулятором; 2 — с регулятором Смита

Рисунок 21 -Графики переходных процессов в АСР

К недостаткам регулятора Смита, кроме сложности его структуры и аппаратной реализации, относится высокая чувствительность к параметрам настройки модели. Ошибки в настройке модели, вызванные неточностью априорных знаний о характеристиках объекта или нестационарностью его свойств, могут привести не только к ухудшению качества переходных процессов, но и к потере устойчивости системой регулирования. Поэтому практические рекомендации по выбору систем регулирования объектов с чистым запаздыванием заключаются в следующем:

- использование специальных регуляторов с компенсацией запаздывания целесообразно лишь при отношении $\tau / T > 0,5 - 0,7$;
- при изменении параметров объекта более чем на 20 % от номинальных значений требуется коррекция настроек параметров модели;
- при наличии высокочастотных возмущений в объекте использование регуляторов с компенсацией запаздывания нецелесообразно;
- реализация регуляторов с компенсацией запаздывания программным способом наиболее эффективна при использовании ЭВМ в режиме супервизорного или непосредственного цифрового управления.

Известны регуляторы, использующие знание динамики объекта управления и блок задержки на время транспортного запаздывания, например упредитель Смита, использующий прямую модель объекта без запаздывания и

блок задержки. С помощью упредителя Смита удастся получить лучшее качество регулирования, чем при использовании типовых промышленных ПИД-регуляторов. Однако такое качество регулирования часто оказывается недостаточным.

Несколько выше точность регулирования можно получить, используя регулятор Ресвика. Регулятор Ресвика использует обратную динамическую модель инерционной части объекта управления и блок задержки на время чистого запаздывания. Система автоматического управления с использованием регулятора Ресвика включает последовательно соединенные первый сумматор, блок обратной модели объекта, второй сумматор и объект управления, а также блок задержки, вход которого соединен с входом объекта управления. Однако точность регулирования в такой системе и устойчивость могут сильно снизиться, если объект управления имеет большой порядок инерционности, а измеритель - существенную динамическую погрешность.

2.1 Предиктор Смита

Для управления объектами с отношением $\frac{t_0}{t_{nn}} > 0.2 \dots 0.5$ используют регуляторы, содержащие блоки для предсказания и устранения поведения объекта на время транспортного запаздывания t_0 .

Впервые структура такого регулятора была предложена Смитом в 1957 году, поэтому данный регулятор в литературе называется предиктором Смита. Цель предиктора Смита – предсказать величину сигнала на выходе объекта до того, как он там появится на самом деле. За счет этого предсказания из модели исключается величина запаздывания, что даёт возможность прогнозирования поведения объекта до момента появления сигнала на выходе. Структурная схема предиктора Смита представлена на рисунке 22.

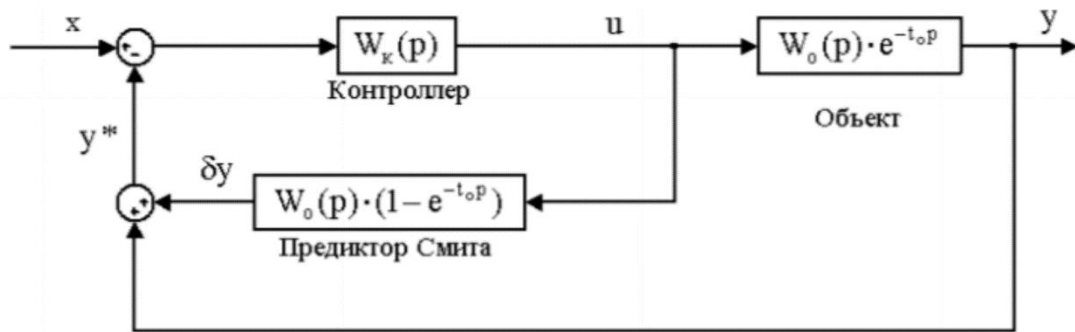


Рисунок 22 -Структурная схема классического предикатора Смита

Предиктор Смита имитирует разницу между моделью процесса с зоной нечувствительности и реальным объектом. Этот корректирующий сигнал добавляется к измеренному выходному сигналу, чтобы предсказать, какой сигнал был бы на выходе, если бы не было запаздывания. Прогнозируемое значение y^* подается на контроллер $W_k(p)$, который корректирует управляющее воздействие U .

2.2Регулятор Ресвика

Регулятор Ресвика (рисунок 23) предназначен для устранения транспортного запаздывания, которое приводит к неустойчивости замкнутых систем и затрудняет решение задачи синтеза.

Во внутренней положительной обратной связи регулятора Ресвика содержится звено чистого запаздывания, которое предсказывает величину выходного сигнала после изменения величины управляющего воздействия U . Это звено моделирует динамику объекта и постоянно компенсирует реальный выходной сигнал, поэтому из основного контура исключается чистое запаздывание t_0 . В случае неравенства запаздывания объекта t_0 и моделируемого запаздывания $t_{0, \text{мод}}$, система может выйти за границы устойчивости.

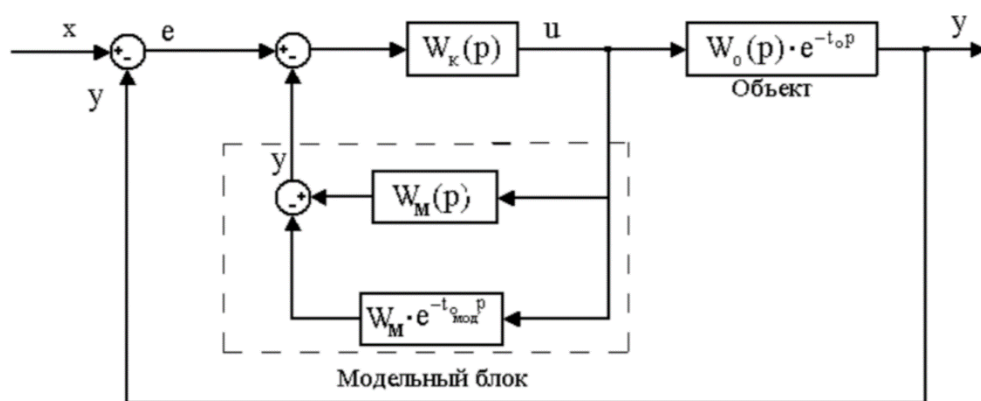


Рисунок 23 -Структурная схема регулятор Ресвика

3 РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ В СРЕДЕ MATLAB

3.1 Работа в пакете прикладного программирования MatLab

MATLAB - коммерческое программное обеспечение для математики, выпускаемое American MathWorks. Это высокоуровневый технический язык программирования и интерактивная среда для разработки алгоритмов, визуализации данных, анализа данных и численного расчета (в основном это MATLAB и Simulink).

MATLAB представляет собой комбинацию из двух слов *matrix & lab*, что означает матричную фабрику (матричную лабораторию). Это высокотехнологичная вычислительная среда, которая в основном публикуется в Mathworks в Соединенных Штатах и сталкивается с научными вычислениями, визуализацией и интерактивным программированием. Он объединяет множество мощных функций, таких как численный анализ, матричные вычисления, визуализация научных данных, а также моделирование и моделирование нелинейных динамических систем в простой в использовании оконной среде для научных исследований, инженерного проектирования и многих наук, которые должны быть эффективно численно рассчитаны. Домен предоставляет комплексное решение и в значительной степени отличается от традиционных не интерактивных языков программирования (например, C, Fortran), представляющих собой передовой уровень международного научного компьютерного программного обеспечения.

Simulink - инструмент визуального моделирования в MATLAB, иными словами это среда проектирования блок-схем на основе MATLAB, который реализует динамическое моделирование системы, симуляцию и анализ. Он широко используется в линейных и нелинейных системах, а также симуляции и моделировании цифровой обработки сигналов.

Simulink обеспечивает интегрированную среду для динамического моделирования системы, симуляции и всестороннего анализа. В этой среде нет

необходимости писать много программ, следовательно, для создания сложной системы требуется только простое и интуитивное управление мышью.

Для достижения контроля процесса сначала необходимо понять и освоить технологические характеристики объект управления.

Математические модели обычно выражаются в математических уравнениях. Обычно используемые формы описания включают дифференциальные уравнения, передаточные функции, разностные уравнения и т.д.

Общее выражение дифференциального уравнения эталонной модели:

$$y^{(n)}(t) + a_{n-1}y^{(n-1)}(t) + \dots + a_1y'(t) + a_0y(t) = b_mx^{(m)}(t) + \dots + b_1x'(t) + b_0x(t) \quad (22)$$

где $y(t)$ – значение входа;

$X(t)$ – значение выхода.

Порядок вывода обычно не меньше порядка ввода ($n \geq m$)

В данной работе используется объект второго порядка, общие передаточные функции которого представлены ниже:

Рассмотрим систему с объектом управления (ОУ) второго порядка, вид которой приведен на рисунке 24:

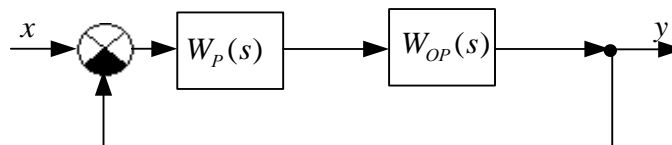


Рисунок 24 – Схема системы с ОУ второго порядка

Передаточная функция объекта управления

$$W_{OP}(s) = \frac{k_O}{T_{O1}s^2 + T_{O2}s + 1} \quad (23)$$

Передаточная функция регулятора

$$W_P(s) = k_{PEG} \cdot \left(k_{II} + \frac{1}{T_{II}s} + \frac{k_D T_D s}{T_D s + 1} \right), \quad (24)$$

где $k_{PEG} = k_{II}$, $T_{II} = \frac{k_{PEG}}{k_{II}}$, $T_D = \frac{k_D}{k_{PEG}}$.

4.2 Разработка и исследование САУ с псевдолинейным регулятором в среде MatLab

В программном пакете MATLAB структурная схема системы автоматического регулирования, состоящей из КУ (структура КУ с фазовым опережением), ПИД-регулятора и объекта управления второго порядка, выглядит следующим образом (рисунок 25):

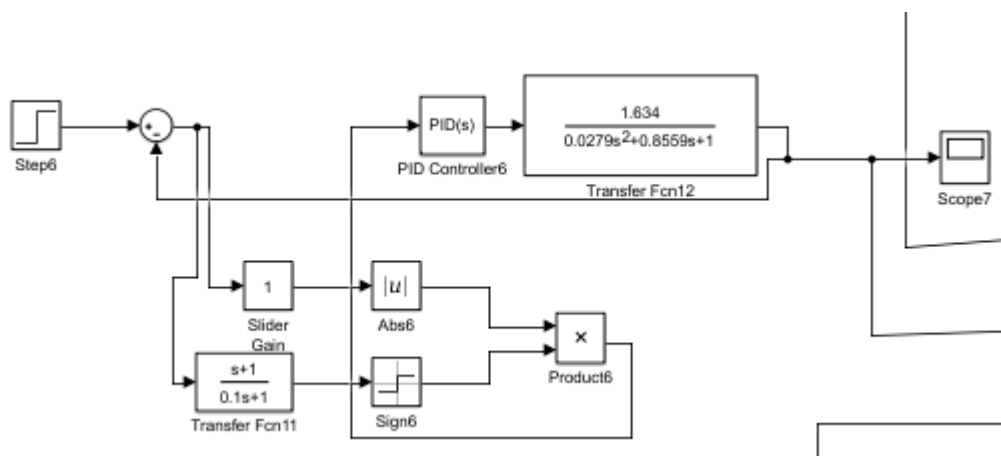


Рисунок 25 – модель КУ с псевдолинейным регулятором

САУ с псевдолинейным регулятором в Matlab представляет на рисунке 26.

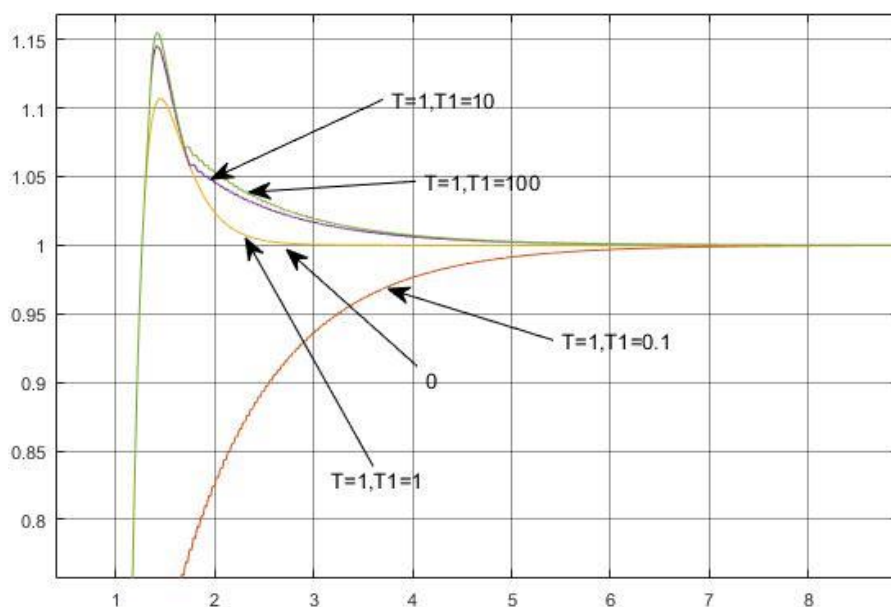


Рисунок 26 - САУ с псевдолинейным регулятором

4.3 Разработка и исследование САР с запаздыванием в среде MatLab

В программном пакете MATLAB структурная схема системы автоматического регулирования с запаздыванием, состоящей из ПИД-регулятора и объекта управления первого порядка, выглядит следующим образом (рисунок 27):

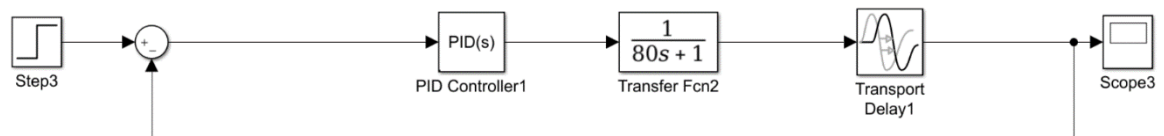


Рисунок 27– Структурная схема САР в MATLAB

Зададим параметры ПИД-регулятора таким образом, чтобы система была устойчивой:

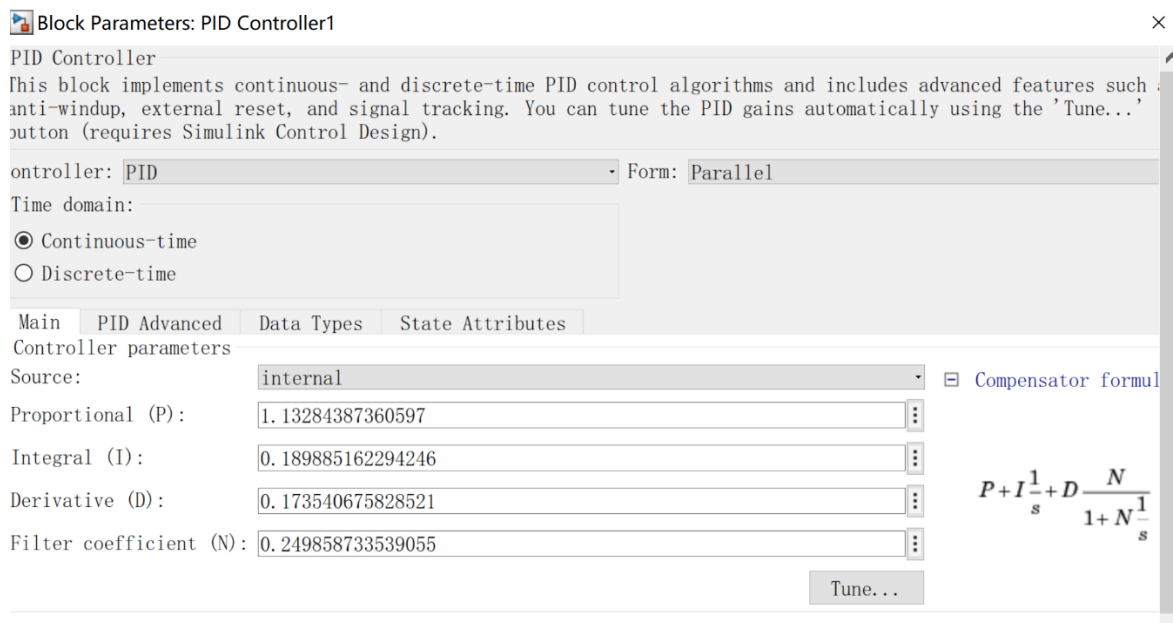


Рисунок 28 – Блок настройки параметров ПИД-регулятора

График переходной характеристики:

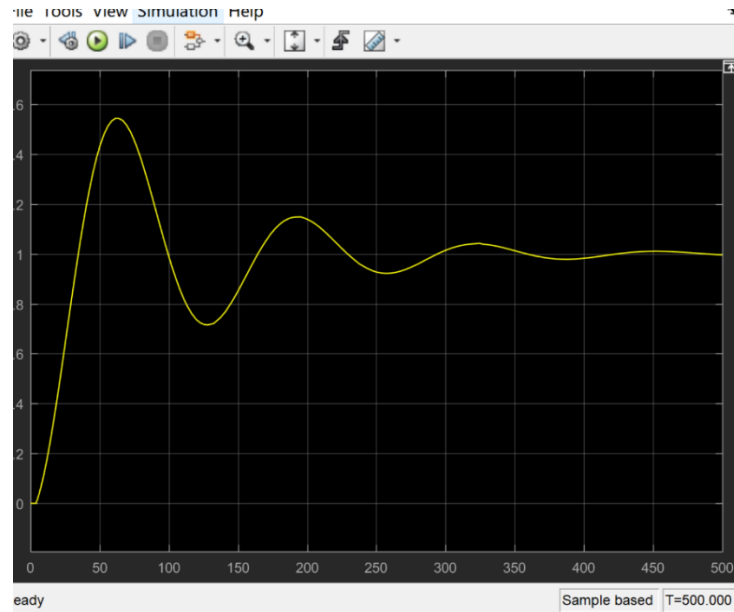


Рисунок 29– Кривая переходной характеристики САР

Следующим шагом является сборка структурной схемы САР с КУ (структура КУ с фазовым опережением), которая представлена на рисунке 30.

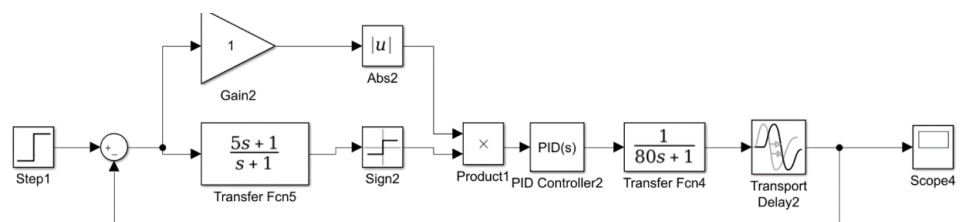


Рисунок 30– Структурная схема САР с КУ

Далее проводился анализ влияния изменения T на выходной сигнал, без изменения коэффициента TI .

$$T = [1, 10, 20, 50, 100] \quad TI = 1$$

Графики переходных процессов САР с КУ при различных значениях параметра T КУ представлен на рисунке 31.

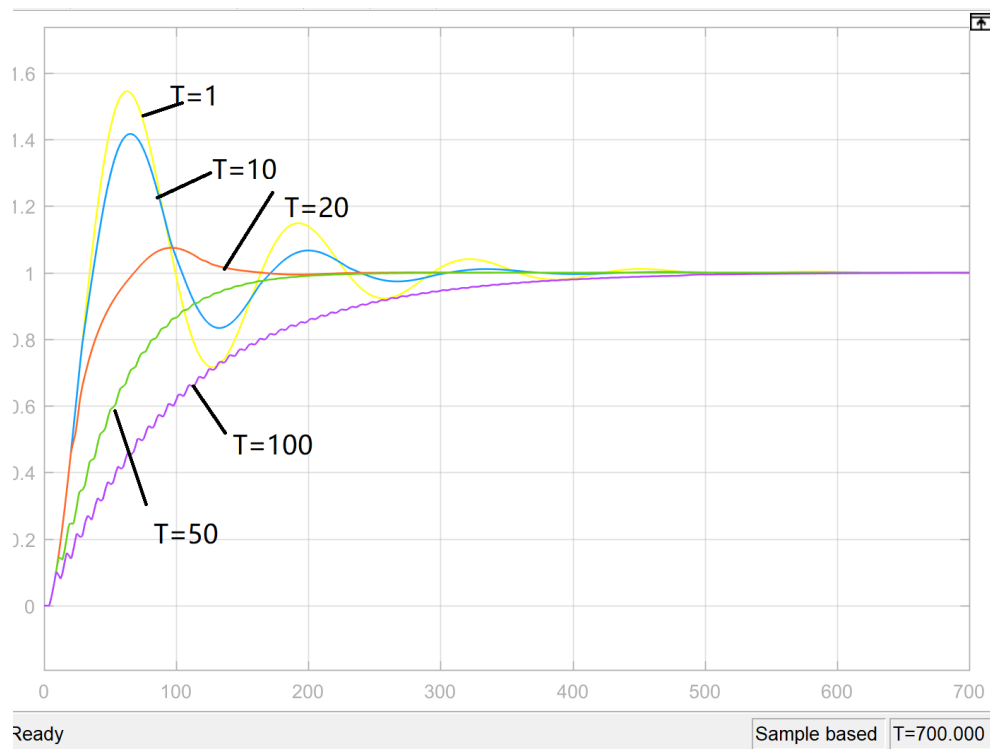


Рисунок 31– Графики переходных процессов САУ с КУ при различных значениях параметра T КУ.

В результате анализа было выявлено, что чем больше коэффициенты T САУ с фазовым корректирующим устройством, тем меньше перерегулирование, а время регулирования больше.

Ниже приведен случай переходных процессов системы с постоянными значениями параметра T и Tl без КУ и с использованием КУ.

Допустим параметр объекта $Tl=1$, и $T=50$.

В программном пакете MATLAB структурная схема системы автоматического регулирования, состоящей из ПИД-регулятора и объекта управления первого порядка, модели которых без КУ и с использованием КУ выглядят следующим образом (рисунок 32):

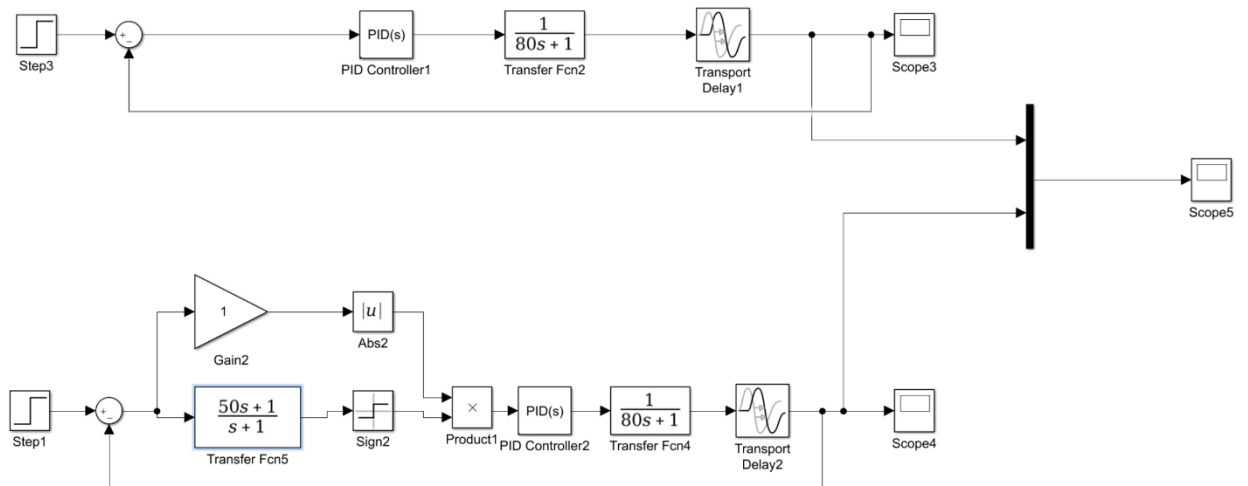


Рисунок 32 – Структурная схема САР без КУ и с использованием КУ в MATLAB

При $W_{op}(s) = \frac{1}{10s+1}$

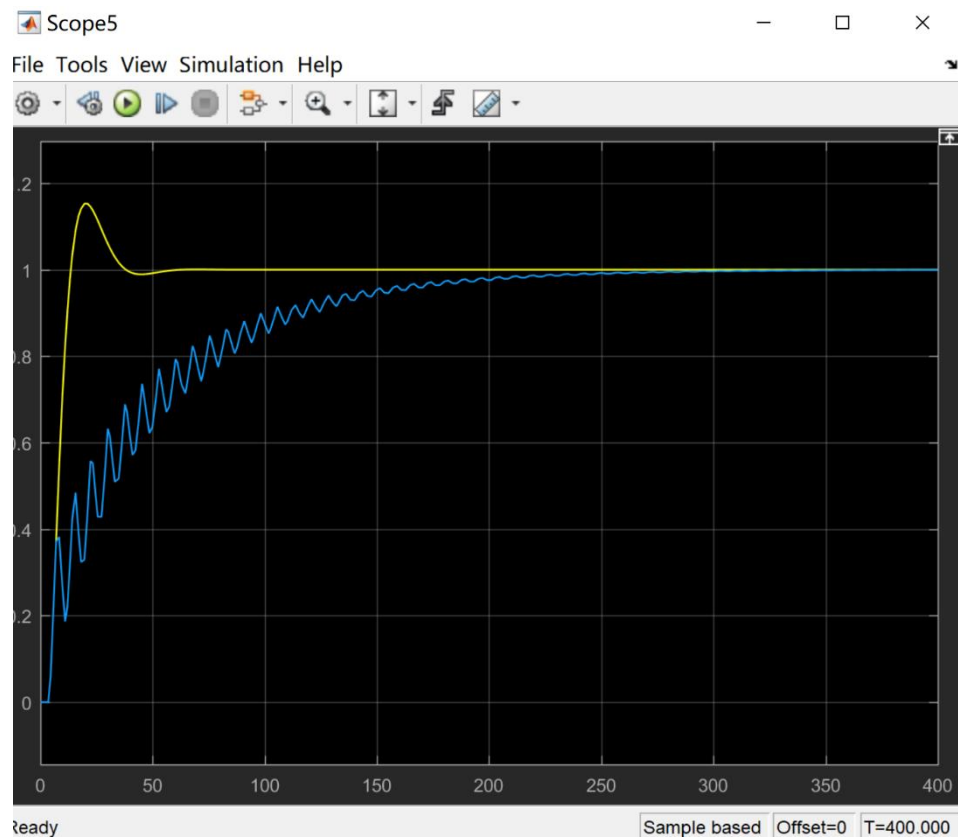


Рисунок 33 – Кривые переходных процессов системы с ПФ $W_{op}(s) = \frac{1}{10s+1}$:
кривые без КУ и с использованием КУ

При $W_{op}(s) = \frac{1}{80s+1}$

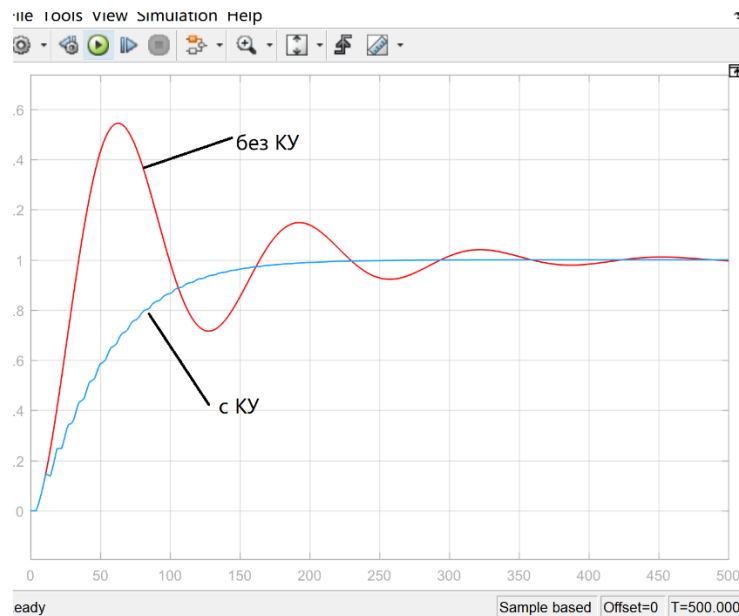


Рисунок 34 – Кривые переходных процессов системы с ПФ $W_{op}(s) = \frac{1}{80s+1}$: кривые без КУ и с использованием КУ

Таким образом, применение корректирующего устройства позволяет повысить качество переходных процессов.

Рассмотрим возможности ПКУ в системе с запаздыванием. Системы с запаздыванием отличаются тем, что в одном или нескольких из своих звеньев имеют запаздывание во времени начала изменения выходной величины (после начала изменения входной) на величину τ , называемую временем запаздывания, причем это время запаздывания остается постоянным и во всем последующем ходе процесса. Запаздывание достигается введением в систему звена чистого запаздывания ($\tau = 1с$).

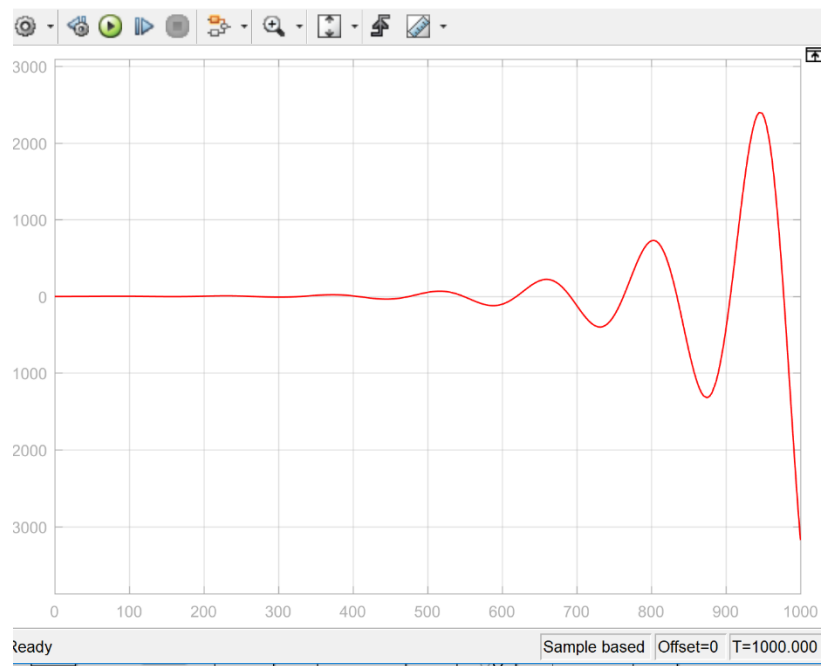


Рисунок 35 – График переходной характеристики системы с запаздыванием с ОУ первого порядка без использования КУ при $\tau=20$

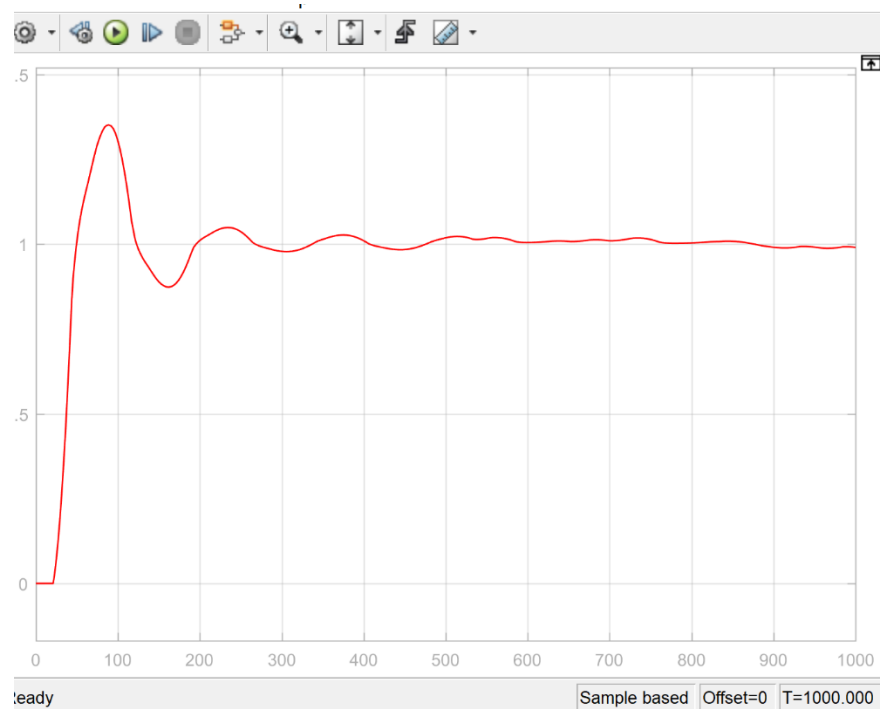


Рисунок 36 – График переходной характеристики системы с запаздыванием с ОУ первого порядка с КУ при $\tau=20$

При $W_{op}(s) = \frac{1}{25s^2 + 5s + 1}$

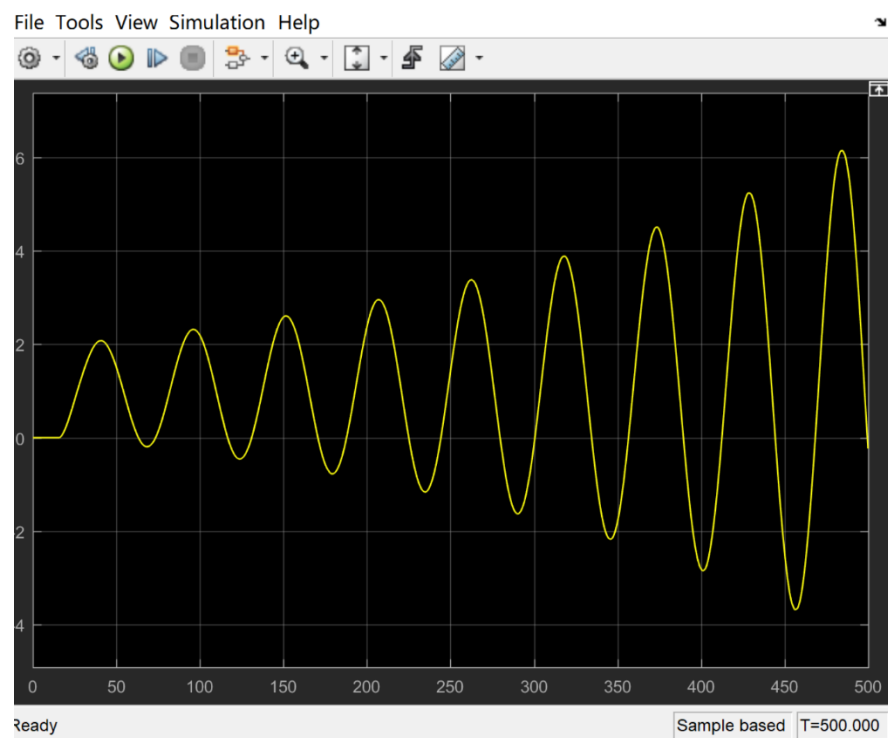


Рисунок 37 – График переходной характеристики системы с запаздыванием с ОУ второго порядка без использования КУ при $\tau=15$

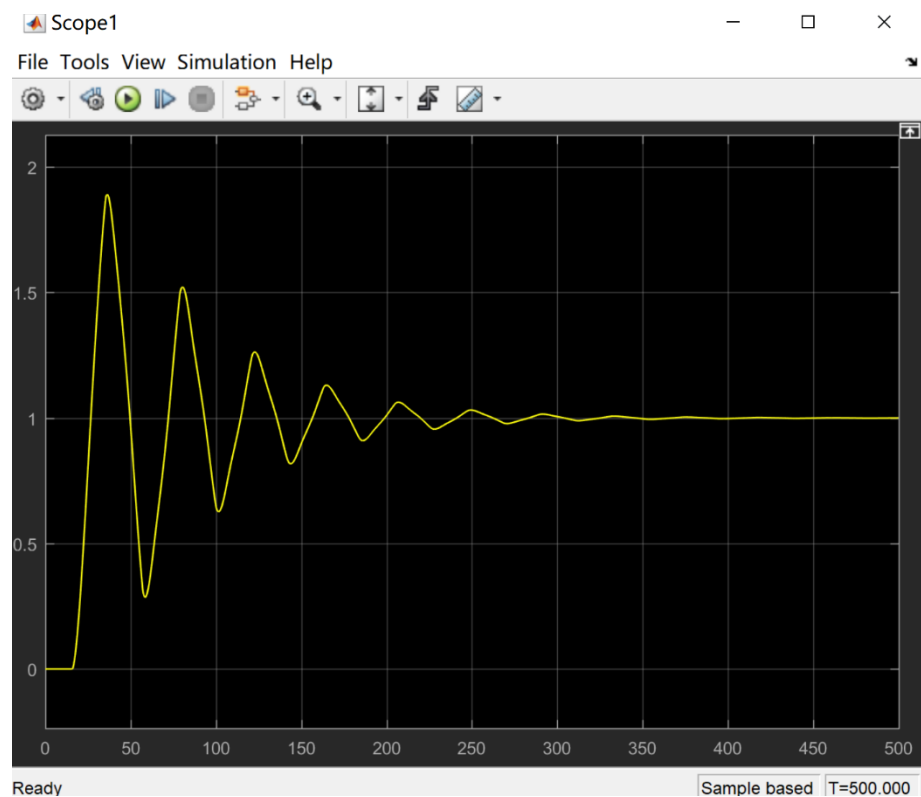


Рисунок 38 – График переходной характеристики системы с запаздыванием с ОУ второго порядка с КУ при $\tau=15$

Таким образом, В результате исследования было установлено, что для повышения качества САР с изменяющимися с течением времени параметрами запаздывания, целесообразно использовать псевдолинейный регулятор состоящий из ПИД-регулятора и Корректирующего устройства с фазовым опережением включенных последовательно.

Ниже рассмотрена работа на примере системы с запаздыванием с ОУ первого порядка с регулятором Ресвика.

В программном пакете MATLAB структурная схема системы автоматического регулирования, состоящей из ПИД-регулятора и объекта управления первого порядка, модели которых без регулятора Ресвика и с использованием регулятора Ресвика выглядят следующим образом (рисунок 39):

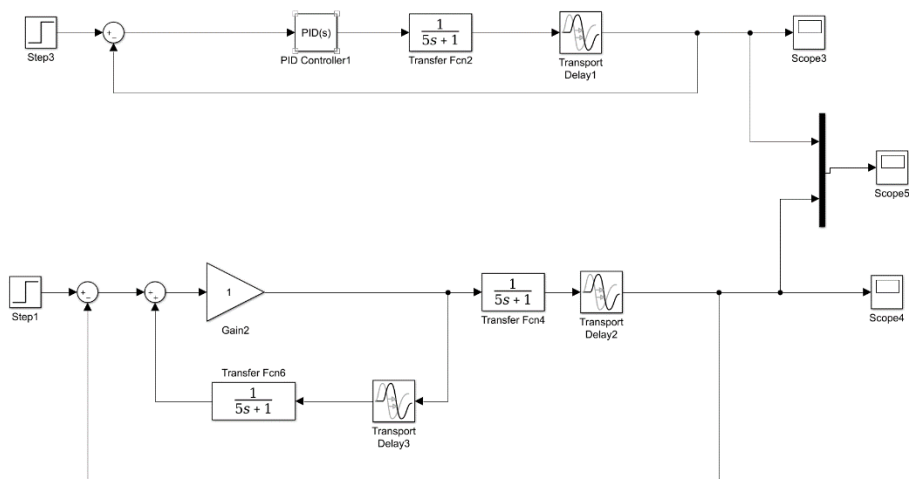


Рисунок 39 – Структурная схема САР без регулятора Ресвика и с использованием регулятора Ресвика в MATLAB

При $W_{op}(s) = \frac{1}{5s+1}$

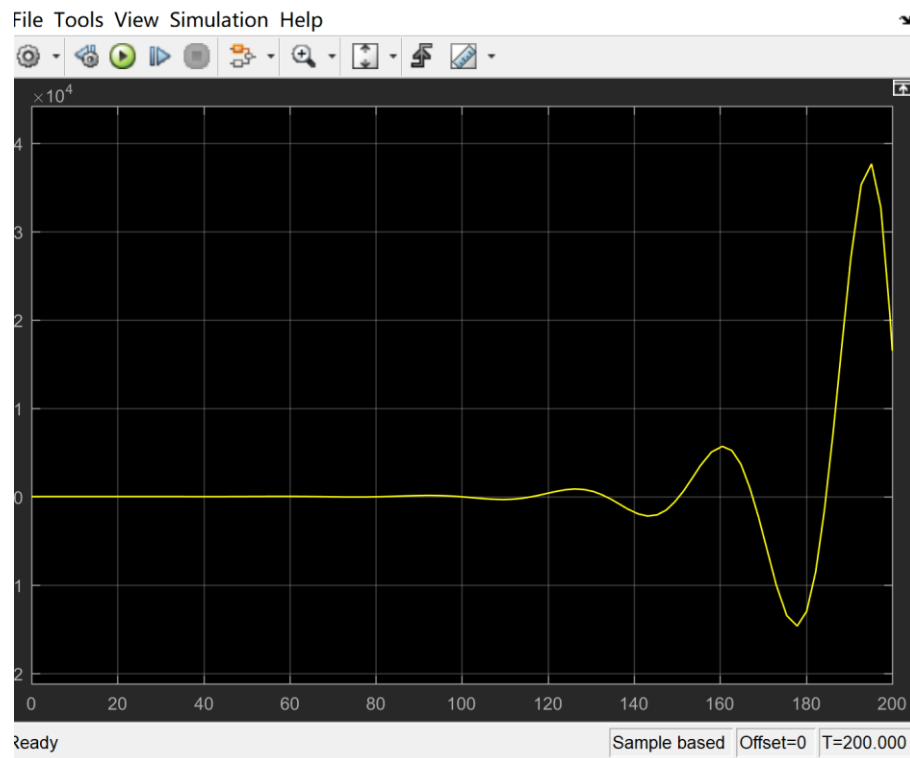


Рисунок 40 – График переходной характеристики системы с запаздыванием с ОУ первого порядка без использования регулятора Ресвика при $\tau=15$

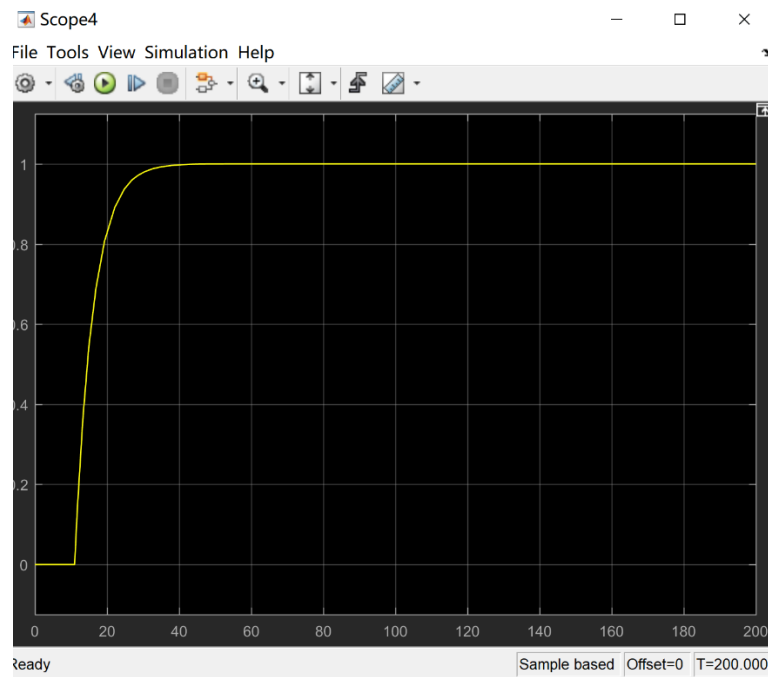


Рисунок 41 – График переходной характеристики системы с запаздыванием с ОУ первого порядка с регулятора Ресвика при $\tau=15$

4 СТРУКТУРА ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСА

В лаборатории автоматизированных систем управления отделения Автоматизации и робототехники ТПУ имеется лабораторный комплекс на базе контроллера SIMATIC S7-300.

SIMATIC S7-300 — это модульный программируемый контроллер для решения задач автоматизации. Модульная конструкция контроллера S7-300, работа с естественным охлаждением, возможность применения структур локального и распределенного ввода-вывода, широкие коммуникационные возможности, множество функций, поддерживаемых на уровне операционной системы, высокое удобство эксплуатации и обслуживания обеспечивают возможность получения оптимальных решений для построения систем автоматического управления технологическими процессами в различных областях промышленного производства.

Внешний вид одной стойки контроллера SIMATIC S7-300 определенной конфигурации показан на рисунке 42.

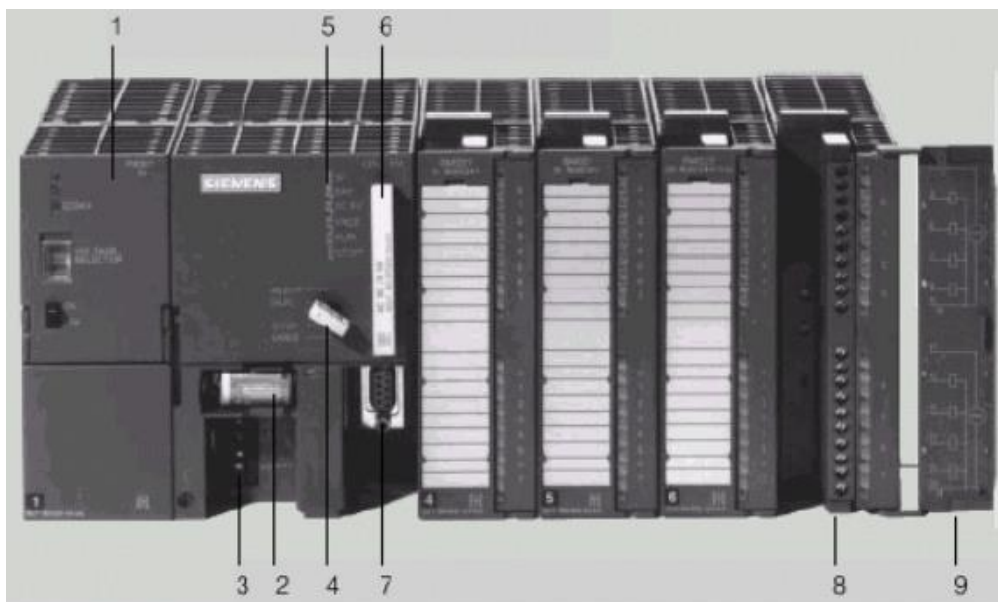


Рисунок 42 – Внешний вид стойки контроллера S7–300.

На рисунок. 42. приведены обозначения: 1 – блок питания, 2 – буферная батарея (для всех CPU кроме 312FM), 3 – клеммы для подключения питания 24 В, 4 – ключ переключения режимов работы, 5 – светодиоды индикации состояния системы, 6 – submodule памяти (для всех CPU кроме 312FM), 7 –

разъем многоточечного интерфейса MPI, 8 – фронтальный соединитель, 9 – защитная крышка.

4.1 Структурная схема лабораторного стенда

На рисунке 43 представлена структурная схема лабораторного стенда, на базе контроллера SIMATIC S7 – 300. В данный лабораторный комплекс входят модули контроллера: блок питания PS 307 5A (307-1EA00-0AA0), центральный процессор CPU 314C – 2DP (314-6CG03-0AB0 со встроенными модулями: дискретного ввода D18xDC24V и аналогового ввода/вывода AI5/AO2x12Bit, коммуникационный модуль CP343-1 для организации последовательной передачи данных по Ethernet интерфейсу, станции распределенного ввода ET200M/LINK (IM 153-2) с заказным номером 153-2BA02-0XB0, модули ввода-вывода дискретного сигнала DI 32xDC24V (321-1BL00-0AA0) и DI8/DO8xDC24V (323-1BH01-0AA0), модуль аналогового ввода/вывода AI4/AO2x12Bit (334-0KE00-0AB0), модуль дискретного ввода/вывода DI16/DO16xDC24V (323-1BL00-0AA0), а также 2 блока реле (X2, X7), АВК (аналогово-вычислительный комплекс) для создания математической модели САУ. Также на стенде присутствуют клеммные колодки для ввода/вывода аналоговых/дискретных сигналов. X4, X6, X8, X10, X15, X16 – обозначение клеммных колодок. Каналы модуля ввода аналогового сигнала поступают на клеммную колодку X4, где осуществляется ввод сигнала с АВК. Каналы модуля ввода дискретного сигнала поступают на колодки X15, X16, X8 и X10. На X8 осуществляется ввод дискретного сигнала при помощи кнопок. Каналы модуля вывода дискретного сигнала поступают на блоки реле X2 и X7, где осуществляется вывод дискретного сигнала при помощи сигнального табло. Тип клеммных соединений – “сухой контакт”.

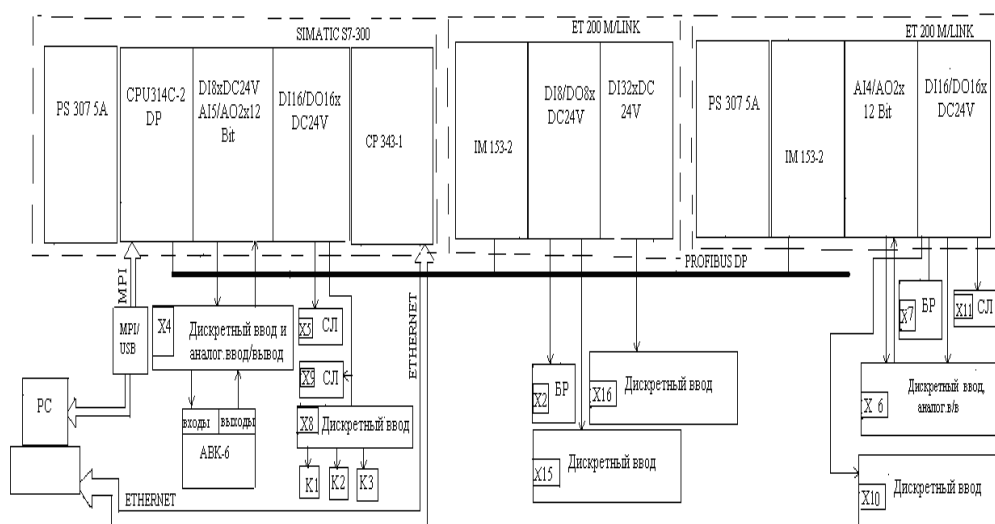


Рисунок 43 – Структурная схема лабораторного стенда контроллера S7 -300

4.2 Программный пакет STEP7

STEP 7 - это программное обеспечение для программирования, используемый для промышленных продуктов управления Siemens, включая SIMATIC S7, M7, C7 и компьютерное программное обеспечение WinCC, мониторинга и настройки параметров, является важной частью промышленного программного обеспечения SIMATIC.

STEP 7 имеет следующие функции: конфигурация оборудования и параметры, конфигурация связи, программирование, тестирование, запуск и обслуживание, архивирование файлов, работа и диагностические функции.

Отличительной особенностью пакета STEP7 является возможность разработки комплексных проектов автоматизации, базирующихся на использовании множества программируемых контроллеров, промышленных компьютеров, устройств и систем человеко-машинного интерфейса, устройств распределенного ввода-вывода, сетевых структур промышленной связи. Ограничения на разработку таких проектов накладываются только функциональными возможностями программаторов или компьютеров, на которых установлен STEP7.

Инструментальные средства STEP7, необходимые для выполнения всех этапов разработки проекта, а также последующей эксплуатации системы управления:

- SIMATIC Manager – ключевая программа STEP7, позволяющая выполнять управление всеми составными частями проекта, осуществлять быстрый поиск необходимых компонентов, производить запуск необходимых инструментальных средств.

- Symbol Editor – программа определения имен переменных, типов данных, ввода комментариев к переменным.

- Hardware Configuration – программа конфигурирования используемой в проекте аппаратуры.

- Communication – программа конфигурирования систем промышленной связи, использующих для обмена данными MPI интерфейс, сети PROFIBUS, PROFINET или Industrial Ethernet. Сеансы связи могут осуществляться циклически или запускаться по временным или аппаратным прерываниям.

- Информационные функции – для быстрого доступа к данным центрального процессора и управления режимами выполнения программы пользователя в ходе ее отладки.

Для разработки программ пользователя STEP7 позволяет использовать следующие способы их представления:

- Список инструкций (Statement List – STL). Программы, написанные на STL, занимают минимальный объем в памяти программ контроллеров и обладают наиболее высоким быстродействием.

- Диаграммы лестничной логики (Ladder Diagram – LAD). В отечественной литературе этот язык известен как язык релейно-контактных схем – РКС.

- Язык функциональных блоков (Function Block Control Diagram – FBD). Язык, позволяющий выполнять разработку программы по аналогии с

разработкой функциональной схемы устройства управления, создаваемого на основе интегральных логических элементов, счетчиков, таймеров и т.д.[16]

В данной работе реализована САР с нечетким регулятором для объекта управления первого порядка в программном пакете STEP7, и проверена её работа под управлением контроллера SIMATIC S7-300.

Для реализации представленной САР объект управления моделировался на аналогово-вычислительном комплексе АВК - 6.

S7-PLCSIM, разработанный Siemens, представляет собой программируемое программное обеспечение для моделирования контроллеров. S7-PLCSIM может реализовать операцию моделирования в интегрированном состоянии Step7, а также может быть интегрирован с программным обеспечением WinCC для конфигурации и реализовать имитацию мониторинга хост-компьютера в среде Step7. S7-PLCSIM может имитировать работу без подключения к CPU. Программное обеспечение моделирования S7-PLCSIM может моделировать область хранения ввода / вывода ПЛК через окно моделирования, изменять статус включения / выключения входной переменной, управлять запущенной программой и контролировать результат выполнения программы. Во время имитации программы можно отслеживать и изменять таймеры и счетчики. Операции чтения записи могут выполняться в битовых ячейках памяти (M), периферийных входах / выходах (PI / PQ) и данных в существующих блоках данных.

5 ПРОГРАММНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ САР С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ С ПСЕВДОЛИНЕЙНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ.

В результате выполнения выпускной квалификационной работы разработано программное и методическое обеспечение для исследования САР с запаздыванием с псевдолинейным регулятором.

Программное обеспечение состоит из программы для контроллера Siemens Simatic S7-300, написанной на языке FBD.

Методическое обеспечение состоит из методических указаний для выполнения лабораторной работы «Изучение псевдолинейного регулятора для объектов управления с запаздыванием». Разработанное методическое обеспечение будет использовано в учебном процессе при изучении курса «Адаптивные системы управления» студентами, обучающимися по направлению 27.04.04 - Управление в технических системах Томского политехнического университета.

5.1 Программное обеспечение лабораторного комплекса

Программное обеспечение лабораторного комплекса для исследования САР с запаздыванием с псевдолинейным регулятором, реализовано в виде программы на языке FBD для контроллера Siemens Simatic S7-300.

5.1.1 Программ САР с КУ с запаздыванием на языке FBD

Для реализации представленной САР передаточные функции элементов были преобразованы в последовательность элементарных математических операций, легко реализуемых на языке FBD в STEP 7.

Передаточная функция регулятора:

$$W_p(s) = k_{PEГ} \cdot \left(k_{II} + \frac{1}{T_{II}s} + \frac{k_D T_D s}{T_D s + 1} \right) \quad (25)$$

где $k_{PEГ} = k_{II}$, $T_{II} = \frac{k_{PEГ}}{k_{II}}$, $T_D = \frac{k_D}{k_{PEГ}}$.

Дифференциальное звено регулятора в виде совокупности

элементарных звеньев: $\frac{Kd \cdot s}{Td \cdot s + 1} = \frac{Kd}{Td} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{Td} \cdot \frac{1}{s}}$.

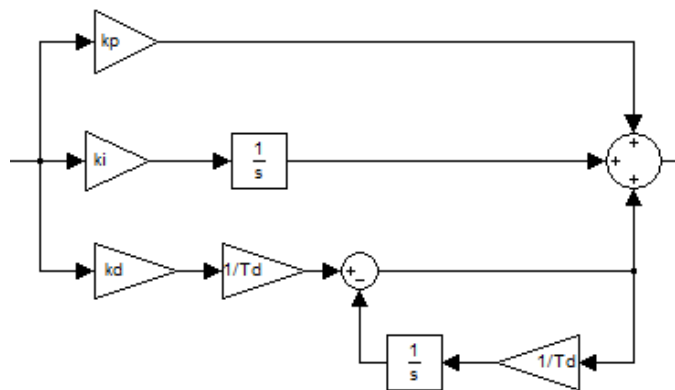


Рисунок 44 – Структура ПИД-регулятора в виде совокупности элементарных звеньев

Интегрирующий канал регулятора реализуется следующим образом:



Рисунок 45 – Представление интегрирующего канала регулятора

Интегратор заменяется суммой с определенным шагом дискретизации.

Шаг дискретизации примем равным 0.05.

Так как, ПИД-регулятор реализует в STEP 7 представлен на рисунке 46.

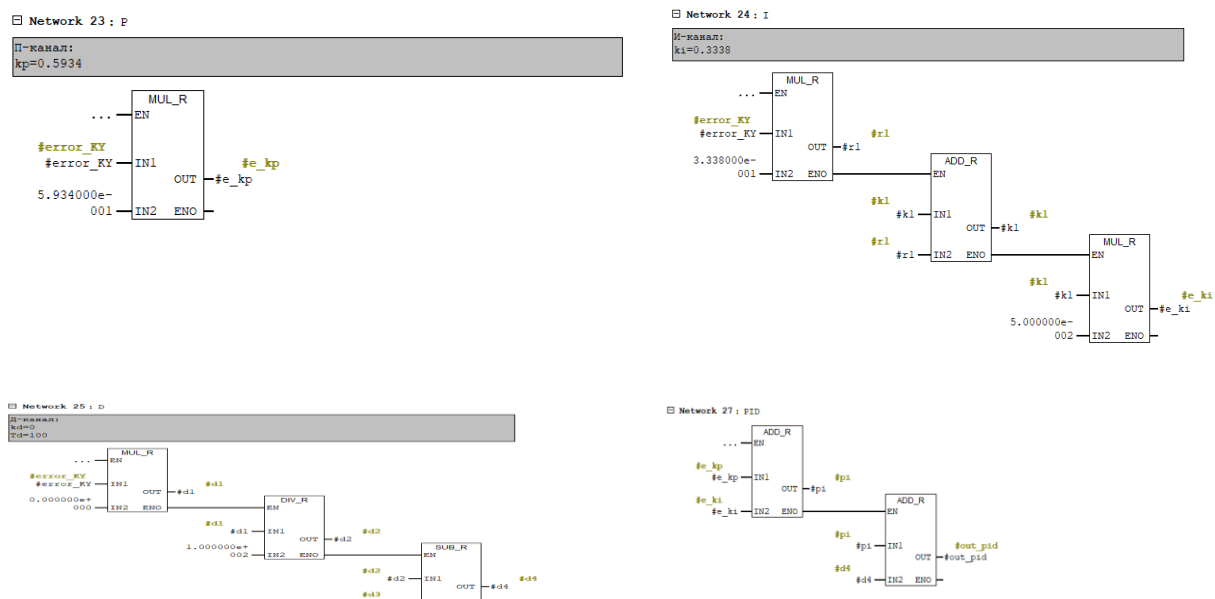


рисунок 46 - Сегменты программы реализации ПИД-регулятор в STEP 7

Передаточная функция ОУ (второго порядка)

преобразуется в последовательность элементарных математических операций следующим образом:

$$W_{oy}(s) = \frac{K}{T_1 s^2 + T_2 s + 1} = K \cdot \frac{1}{s^2} \cdot \frac{1}{T_1} \cdot \frac{1}{1 + \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{1}{s} + \frac{1}{T_1} \cdot \frac{1}{s^2}} \quad (26)$$

Структурная схема ОУ в виде совокупности элементарных звеньев будет выглядеть согласно рисунку 47:

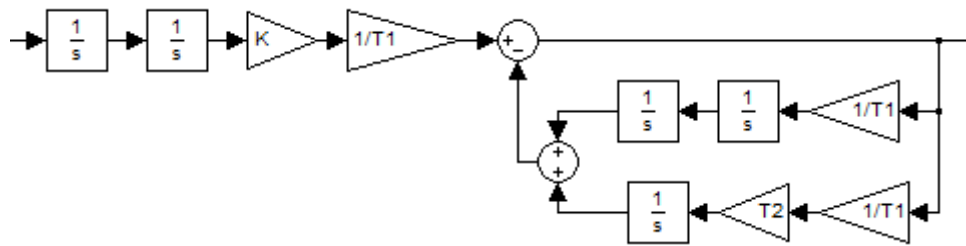
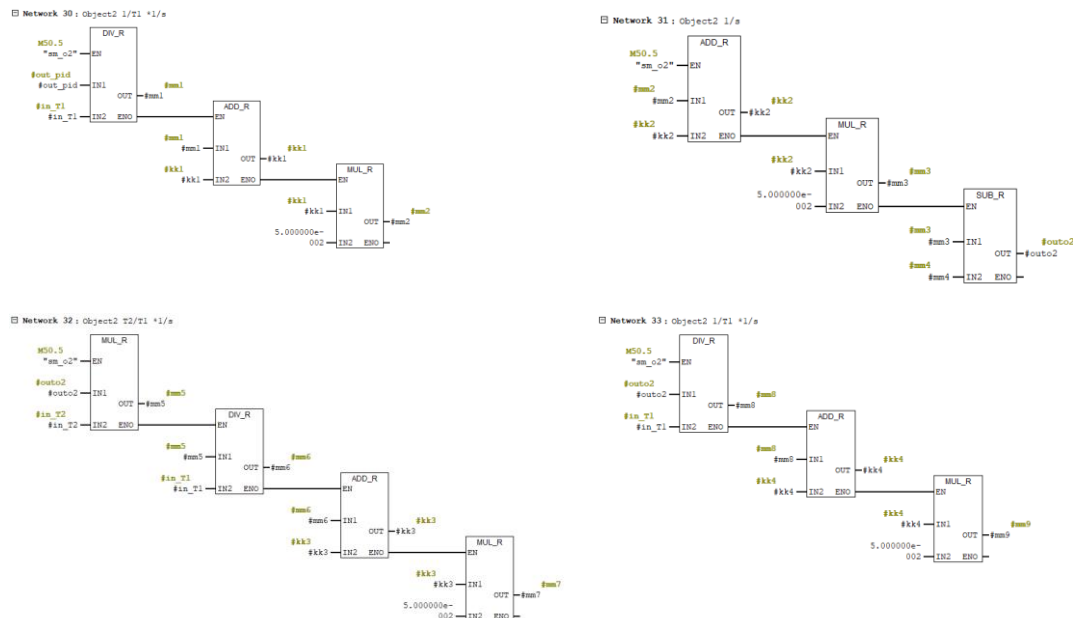


Рисунок 47 – Структурная схема ОУ в виде совокупности элементарных звеньев

Программы реализации объект второго порядка представлено на рисунке 48.



рисунке 48 - Сегменты программы реализации объекта второго порядка

Передаточные функции фазового каналов КУ:

Передаточная функция корректирующего устройства с фазовым опережением $W_{\phi}(s) = \frac{Ts + 1}{T_1s + 1}$, представленная в виде

последовательности элементарных математических операций

$$W_{\phi}(s) = \frac{1}{T_1} \cdot \left(T + \frac{1}{s}\right) \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{T_1} \cdot \frac{1}{s}}$$

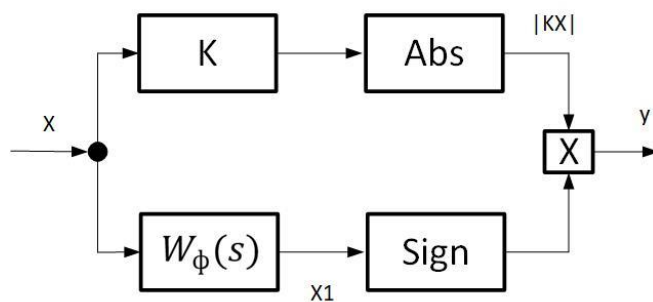
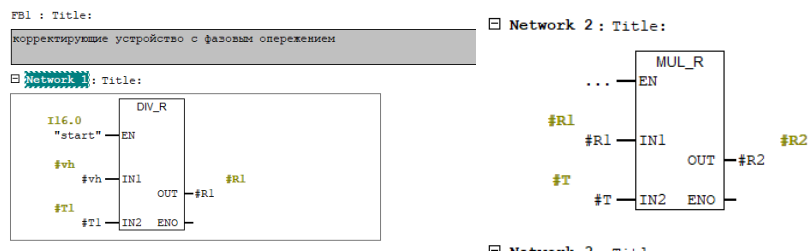


Рисунок 49 - Схема псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением

Псевдолинейное КУ с фазовым опережением, структура которого представлена на рисунке 49, реализовано в отдельном функциональном блоке. Текст программы, описывающий работу КУ приведен ниже.



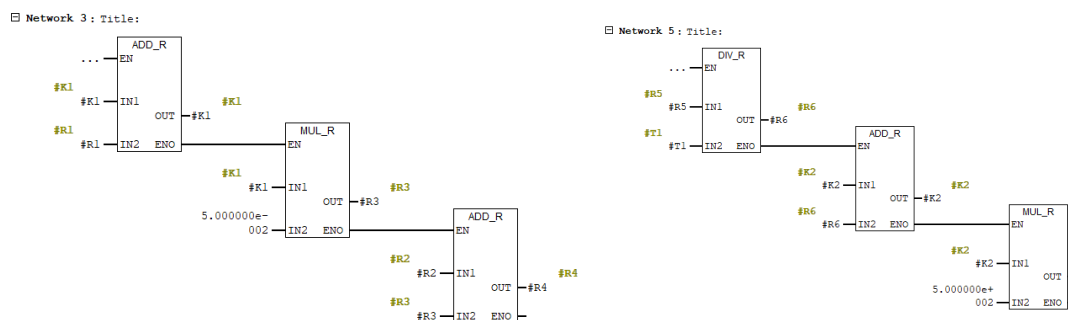


Рисунок 50– Сегменты программы реализации псевдолинейного КУ, описывающие передаточную функции фазового опережения

Функция знака *sign* в фазовом опережении, представленная в виде последовательности элементарных математических операций:

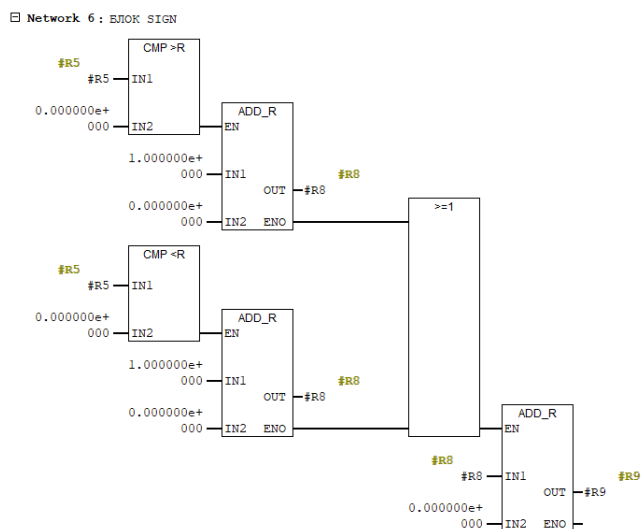


Рисунок 51 – Сегмент программы реализации псевдолинейного фазового КУ, описывающий функцию знака *sign*

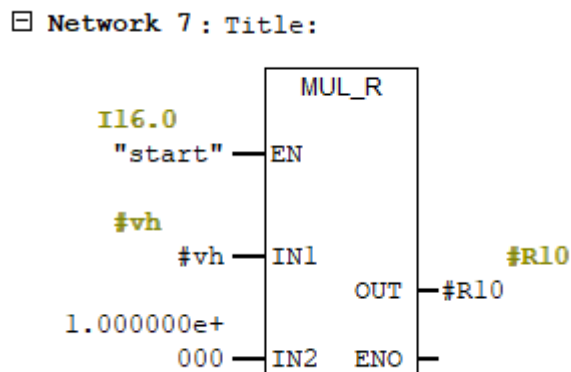


Рисунок 52 Сегмент программы реализации псевдолинейного фазового КУ, описывающий усилителя

Network 8 : БЛОК МОДУЛЯ

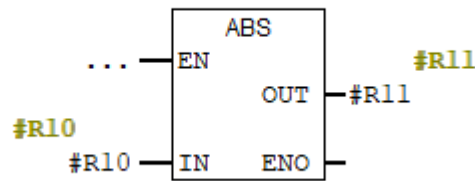


Рисунок 53– Сегмент программы реализации псевдолинейного фазового КУ, описывающий блок модуля

Network 9 : Title:

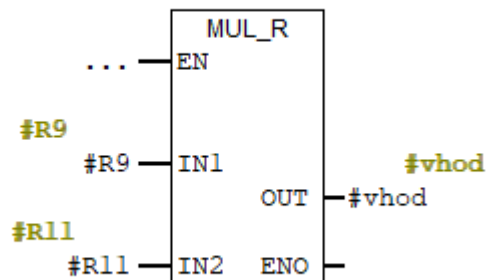


Рисунок 54 – Сегмент программы реализации псевдолинейного фазового КУ, описывающий блок умножения

5.1.2 Мониторинг и симуляции системы

Для запуска симулятора в панели инструментов пакета STEP7 необходимо использовать инструмент Simulation.

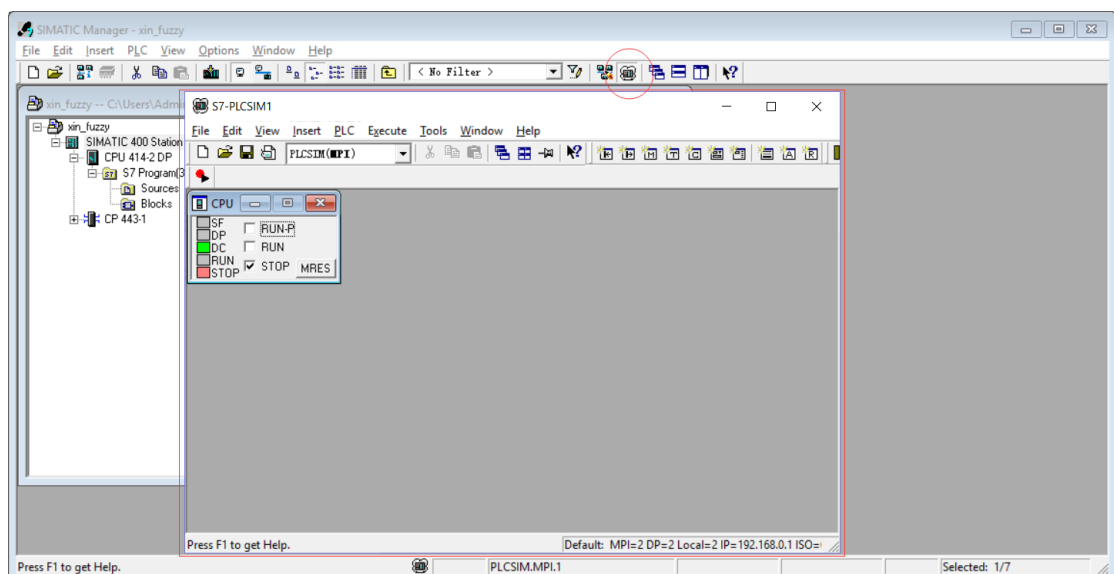


Рисунок 55 – Окно PLCSIM

Потом в меню ‘Options’ необходимо найти подменю ‘SET PG/PC Interface’ интерфейс и выбрать PLCSIM.MPI.

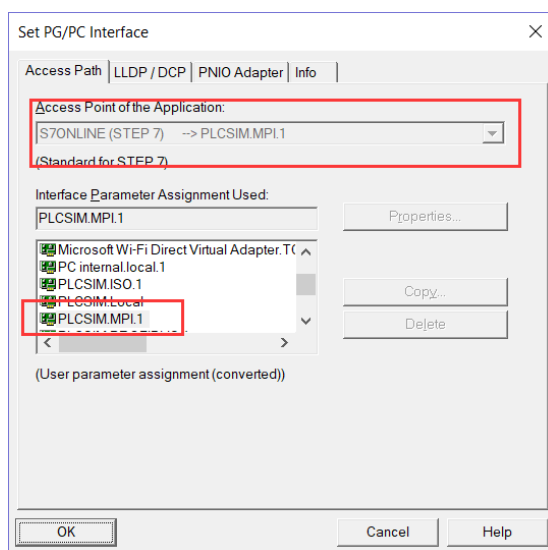


Рисунок 56 – Окно SET PG/PC Interface

5.2 Методическое обеспечение

Разработанное в процессе выполнения выпускной квалификационной работы методическое обеспечение состоит из указаний по выполнению лабораторной работы «Изучение псевдолинейного регулятора для объектов управления с запаздыванием» и позволяет ознакомиться со структурой и принципом работы объектов управления с запаздыванием с псевдолинейным регулятором на примере системы управления объектом второго порядков, а также получить практические навыки по программной реализации псевдолинейного регулятора для систем автоматического регулирования.

В методических указаниях приводятся: цель работы, описание пользовательского интерфейса, обзор используемых в данной лабораторной работе блоков, задание на лабораторную работу, методические указания по составлению программы нечеткого регулятора, содержание отчёта и контрольные вопросы.

Полный текст методических указаний представлен в приложении Б данной выпускной квалификационной работы.

6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕЖЕНИЕ

Контроллеры используются не только как автономные средства локального управления технологическим установками, но и в составе широкомасштабных систем автоматизированного управления целыми предприятиями.

В настоящее время на Российском рынке преобладают контроллеры иностранных фирм: Siemens, Mitsubishi, ABB, Schneider Electric, GE Fanuc, однако с течением времени увеличивается доля рынка, занятая отечественной продукцией Российских фирм (НИЛ АП, Текон, Фаствел, ДЭП, Овен, Элемер, Эмикон и др.), что соответствует общемировой тенденции, когда в большинстве стран отечественные фирмы занимают большую долю рынка, чем иностранные. Это объясняется следующими факторами:

- Российские фирмы обеспечивают более квалифицированную техническую поддержку и русскоязычную документацию;
- большую роль играет срок поставки и территориальная близость производителя к потребителю;
- соответствие отечественных разработок Российским стандартам, чего часто нельзя сказать об импортных контроллерах;
- лучшее знание Российского рынка отечественными производителями.

Широкому распространению ПЛК в большой степени способствует рост компьютерной грамотности населения, спецкурсы в ВУЗах, множество курсов повышения квалификации, проводимых ведущими системными интеграторами.

В данном разделе исследуется рынок контроллеров, которые применяются в той или иной области производства. Для рассмотрения были взяты две модели контроллеров:

1. S7-1500
2. S7-300

Несмотря на огромное разнообразие контроллеров, в их развитии заметны следующие общие тенденции: уменьшение габаритов; расширение функциональных возможностей; увеличение количества поддерживаемых интерфейсов и сетей; использование идеологии «открытых систем»; использование языков программирования стандарта МЭК 61131-3; снижение цены.

Таким образом, целью работы является проведение таких научных исследований, тема которых актуальна на сегодняшний день и отвечает современным требованиям в области ресурсосбережения и ресурсоэффективности.

Достижение цели обеспечивается решением ряда задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения
- научного исследования;
- планирование научно-исследовательской работы;
- определение возможных альтернатив проведения научного исследования, отвечающих современным требованиям в области ресурсосбережения и ресурсоэффективности.

6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

АСУТП удобно разделить на классы. Первым в процессе такого разделения является размер системы, определяемый по количеству входных и выходных сигналов. По нему системы можно разделить на четыре класса:


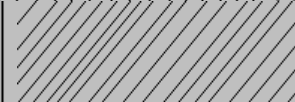
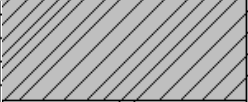


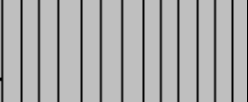
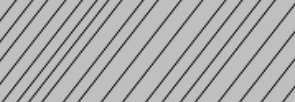


- Малые системы - число сигналов измерения/управления - до 100, и все они собраны в одном месте.
- Средние системы - число сигналов- несколько сотен, но их тоже можно собрать в одном помещении.



- Крупные однородные системы могут быть представлены набором распределенных однотипных малых или средних систем.

Потребителями будут являться: судостроительные предприятия, машиностроительная промышленность и пищевая промышленность:

- ООО «Самусьский судостроительный завод»
Судоремонт и модернизация.
- "Кемеровский машиностроительный завод" (КемМаш)
- ОАО «АК» Томские мельницы»

Таблица 1-Карта сегментирования рынка услуг по разработке интернет-ресурсов

		Размер системы АСУТП		
		Крупные	Средние	Малые
Потребители	Судостроительные предпр.			
	Пищевые комби-наты			
	Машиностроительная промышленность			

 – S7-1500  – S7-300

Из приведённой таблицы 1-карты сегментирования можно сделать следующие выводы:

- 1) основными сегментами рынка являются контроллеры Siemens S7-300;
- 2) необходимо применять контроллеры S7-300 и S7-1500 для работы со средними размерами систем в пищевой промышленности и средними размерами систем в машиностроительной промышленности.

6.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Оценочная карта конкурентных технических решений (разработок) в данной отрасли по фирмам OVEN и Siemens представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Оценочная карта конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерии	Баллы		Конкурент-способность	
		Бф	Бк1	Кф	Кк1
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Повышение производительности труда	0,09	5	4	0,45	0,36
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,07	5	5	0,35	0,35
3. Помехоустойчивость	0,09	5	4	0,45	0,36
4. Энергоэкономичность	0,01	4	4	0,04	0,04
5. Надежность	0,03	5	5	0,15	0,15
6. Уровень шума	0,07	5	5	0,35	0,35
7. Безопасность	0,07	4	5	0,28	0,35
8. Потребность в ресурсах памяти	0,01	4	5	0,04	0,05
9.Функциональная мощность (предоставляемые	0,02	4	5	0,08	0,1
10. Простота эксплуатации	0,04	5	5	0,2	0,2
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,04	4	5	0,16	0,2
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,07	5	5	0,35	0,35
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	5	5	0,5	0,5
2. Уровень проникновения на рынок	0,07	5	5	0,35	0,35
3. Цена	0,07	4	4	0,28	0,28
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,04	4	5	0,16	0,2
5. Послепродажное обслуживание	0,025	5	5	0,125	0,125
6. Финансирование научной разработки	0,05	5	5	0,25	0,25
7. Срок выхода на рынок	0,015	5	5	0,075	0,075
8. Наличие сертификации разработки	0,02	5	5	0,1	0,1
Итого	1			4,72	4,74

В оценочной карте для сравнения конкурентных технических решений (разработок), обозначения Бф и Кф это ОВЕН ПЛК100; Бк1 и Кк1 это Siemens S7-1500.

Исходя из расчётов, сделанных выше, можно сделать вывод, что разработка с использованием Siemens имеет высокий уровень конкурентоспособности. Уязвимостью является предполагаемый срок эксплуатации разработки. Конкурентное преимущество устройства в функциональной мощности, сроке выхода на рынок и конкурентоспособности.

6.1.3 SWOT-анализ

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в данной работе.

Таблица 3 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Экологичность технологии</p> <p>С2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей).</p> <p>С3. Простота изготовления</p> <p>С4. Конкурентоспособность продукта.</p> <p>С5. Срок выхода на рынок.</p> <p>С6. Наличие бюджетного финансирования</p> <p>С7. Наличие специального оборудования для проведения экспериментальных исследований.</p> <p>С8. Наличие квалифицированных кадров у потенциальных потребителей.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл.1. Дороговизна используемого оборудования</p> <p>Сл.2. Узкий профиль разработки</p> <p>Сл.3. Низкий уровень прибыльность</p> <p>Сл.4. Несовместимость линеек между собой</p> <p>Сл.5 Поддержка только собственных плат.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ для быстрого внедрения ПО на рынок.</p> <p>В2. Использование развитой международной инфраструктуры для более быстрой доставки плат.</p> <p>В3. Внедрение на новые рынки или сегменты</p>	<p>Использование инновационной структуры ТПУ позволит повысить конкурентоспособность ПО и ускорить выход на рынок. В процессе продвижения разработки на рынок может появиться дополнительный спрос на разработку. Кроме того, проект может внедриться в новые сегменты рынка. Данная разработка</p>	<p>Кроме того, для лучшего продвижения разработки может быть достигнута тесная связь с потребителями.</p>

рынка В4. Быстрый рост рынка В5. Расширение спектра применения разработки В6. Хорошие связи с потребителями	может быть усовершенствована и дополнена новыми функциональными возможностями что в свою очередь влияет на ширину спектра применения данной разработки.	
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Появление продуктозаместителей У3. Экономический спад У4. Ограничения контроллера, поддержке только собственных протоколов У5. Появление более современных и дешевых технологий.	Главной угрозой разработки является появление более конкурентоспособных технологий, отличающихся современностью и дешевизной, которые вытеснят продукт с рынка. В экономической ситуации может сложиться спад.	Кроме того, данная разработка может не представлять интереса у покупателей ввиду ограничений контроллера, выраженных в поддержке только собственных протоколов, что исключает подключение какого-либо нестандартного оборудования, тем самым понижая спрос у потребителей.

Для осуществления базового варианта SWOT-анализа выбрали основные параметры, влияющие на развитие ситуации и/или успешность организации на рынке. Приоритетом служат ключевые факторы успеха. Рассмотрели также основные возможности и угрозы, которые могут повлиять на компанию или рассматриваемую ситуацию. Провели оценку возможностей и угроз по вероятности их наступления и степени влияния на рассматриваемую ситуацию.

6.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

В данной работе проектная организация состоит из двух человек: руководитель проекта и инженер. Планирование работ позволяет распределить обязанности между исполнителями проекта, рассчитать заработную плату сотрудников, а также гарантирует реализацию проекта в срок. Последовательность и содержание работ, а также распределение исполнителей приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя	Прод олжи тельн ость, дни
Разработка и выдача технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, инженер	1
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	20
	3	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер	1
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер	1
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер	25
	6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Инженер	55
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Инженер	3
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, Инженер	5
	9	Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, инженер	1
Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка стенда для выполнения проекта	Инженер	2
	11	Выбор и расчет стенда	Инженер	2
	12	Оценка эффективности работы и применения проектируемого изделия	Инженер	3
	13	Лабораторные испытания макета	Инженер	11
Оформление комплекта документации по ВКР	14	Составление пояснительной записки	Руководитель, инженер	33
	15	Проверка пояснительной записки		4

Проектирование тепловых сетей реализуется в семь этапов. Основные работы выполняются инженером проектной организации.

6.3 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты являются основной частью стоимости разработки проекта.

Таблица 5 - Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудоз атраты, час.
1	Скороспешкин М.В	Научный руководитель проекта (НР)	отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта.	1000
2	Дай Сюэсун	Исполнитель по проекту (И)	специалист, выполняющий отдельные работы по проекту.	300

6.4. Разработка графика проведения проекта

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (27)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (28)$$

где $T_{\text{КАЛ}}$ – календарные дни ($T_{\text{КАЛ}} = 366$);

$T_{\text{ВД}}$ – выходные дни ($T_{\text{ВД}} = 52$);

$T_{\text{ПД}}$ – праздничные дни ($T_{\text{ПД}} = 12$).

$$T_k = \frac{366}{366 - 52 - 12} = 1,212$$

В таблице 6 приведены длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе.

Таблица 6 - График проведения научного исследования

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Длительность работ, чел/дн.			
					T_{pi}		T_k	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
Постановка задачи	НР	2	4	2,8	3,36	–	4,07	–
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	2	3	2,4	2,88	0,29	3,49	0,35
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	12	15	13,2	4,75	15,84	5,76	19,20
Разработка календарного плана	НР, И	2	4	2,8	3,36	0,34	4,07	0,81
Обсуждение литературы	НР, И	3	6	4,2	1,51	5,04	1,83	6,11
Экспериментальные исследования	НР, И	12	15	13,2	7,92	15,84	9,60	19,19
Обобщение и оценка результатов	НР, И	15	20	17	20,4	14,28	24,72	17,30
Проектирование и изготовление лабораторного стенда	И	8	14	10,4	12,48	8,74	15,13	10,59
Оформление расчетно - пояснительной записки	И	7	14	9,8	-	11,76	-	14,25
Подведение итогов	НР, И	5	8	6,2	4,46	7,44	5,41	9,02
Итого:				82	61,12	79,57	74,08	96,82

На основе табл. 6 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе табл. 6 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.


Таблица 7– Календарный план-график проведения работ по проектированию тепловых сетей

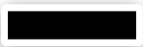
№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{ki} , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Декабрь		Январь				Март						
				15	16	4	5	6	29	2	13	17	18	20	22	25
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, инженер	1													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	20													
3	Выбор направления исследований	Научный руководитель, инженер	1													
4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, инженер	1													
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер	25													
6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Инженер	55													
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Инженер	3													
8	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, инженер	5													
9	Определение целесообразности проведения ВКР	Научный руководитель, инженер	1													

Продолжение таблицы 7 – Календарный план-график проведения ВКР

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Декабрь		Январь				Март						
				15	16	4	5	6	29	2	13	17	18	20	22	25
10	Разработка стенда для выполнения проекта	Инженер	2													
11	Выбор и расчет стенда	Инженер	2													
12	Оценка эффективности работы и применения проектируемого изделия	Инженер	3													

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ					
				Март		Апрель		Май	
				25	26	3	12	13	17
13	Лабораторные испытания макета	Инженер	11						
14	Составление пояснительной записки	Инженер	33						
15	Проверка пояснительной записки	Инженер	4						

Научный руководитель – 

Инженер – 

Таким образом, был оценен объем необходимых работ, составлен календарный план их проведения и распределены обязанности участников проекта: участниками являются 2 человека - научный руководитель и инженер. Научный руководитель участвует в работе в течении 10 дней, инженер- 153 дней.

6.5 Бюджет затрат на проектирование

При планировании бюджета проекта необходимо учесть все виды расходов, которые связаны с его выполнением. Для формирования бюджета проекта используется следующая группа затрат

- материальные затраты проекта;
- основная заработная плата исполнителей проекта;
- дополнительная заработная плата исполнителей проекта;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

6.5.1 Расчет материальных затрат проекта

В данном пункте рассчитывается стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта.

Материалы необходимые для выполнения данной работы и расчет материальных затрат представлены в табл. 8.

Таблица 8– Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб	количество	Сумма, руб.
Бумага для принтера формата А4	150	2 уп.	300
Ручка шариковая	20	3шт.	60
карандаш	10	2 шт.	20
Стирательная резинка	5	2 шт.	10
итого			390

Итого сумма расходов составила 390 рублей. В результате полученной суммы можно сделать вывод, что расходы не превышают 500 рублей, что является весьма приемлемой суммой как для студента, так и для сотрудника.

6.5.2 Основная заработная плата исполнителей проекта

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 6.7.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$\text{Дневная з/плата} = \frac{\text{Месячный оклад}}{25,17 \text{ дней}} \quad (29)$$

Расчеты затрат на основную заработную плату приведены в таблице 9. При расчете учитывалось, что в году 302 рабочих дня и, следовательно, в месяце 25,17 рабочих дня. Затраты времени на выполнение работы по каждому исполнителю брались из таблицы 9. Также был принят во внимание коэффициент, учитывающий коэффициент по премиям $K_{\text{ПР}} = 0,3$ и районный коэффициент $K_{\text{РК}} = 0,3$ ($K = 1,3 \cdot 1,3 = 1,69$).

Таблица 9 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, дни	Фонд з/платы, руб.
НР	32 500	1330,54	10	13305,4
И	18 000	952,36	153	145711,08
Итого:				159016,48

Таким образом, затраты на основную заработную плату составили

$$З_{\text{ОСН}} = 159016,48 \text{ руб.}$$

6.5.3 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15 % от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблице 10

Таблица 10 – Материальные затраты на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма, руб.
Контроллер Simatic S7-300	227120	1 шт.	227120
Контроллер Simatic S7-1500	75700	1 шт.	75700
Блок питания PS 307(S7-300)	23528	1 шт.	23528
Блок питания PM 1507(S7-1500)	5400	1 шт.	5400
Затраты на доставку контроллера Simatic S7-300	540	1 шт.	540
Затраты на доставку контроллера Simatic S7-1500	550	1 шт.	550
Итого для Simatic S7-300:			233188
Итого для Simatic S7-1500:			82300

Расходы на приобретение спецоборудования для научных работ:

$$З_{C01} = 233188 \text{ рублей} - \text{для контроллера } S7 - 300$$

$$З_{C02} = 82300 \text{ рублей} - \text{для контроллера } S7 - 1500$$

$$\sum \text{ам. сост. (1)} = 6829,7 \text{ рублей} - \text{для контроллера } S7 - 300$$

$$\sum \text{ам. сост. (2)} = 2057,5 \text{ рублей} - \text{для контроллера } S7 - 1500$$

6.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) \quad (30)$$

где $k_{внеб}$ - коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 30%¹.

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в табличной форме (табл. 11). Отчисления во внебюджетные фонды

Таблица 11– Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.
НР	13305,4
И	145711,08
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	$k_{внеб} = 30,2\%$
Итого:	48022,98

$$З_{внеб} = 30,2 \cdot 1159016,48 = 48022,98 \text{ руб}$$

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что производятся большие отчисления во внебюджетные фонды.

6.5.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 4) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (31)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16 %.

$$З_{\text{накл}1} = (390 + 6829,7 + 159016,48 + 48022,98) \cdot 0,16 = 34281,47 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{накл}2} = (390 + 2057,5 + 159016,48 + 48022,98) \cdot 0,16 = 33517,91 \text{ руб.}$$

6.5.6 Формирование затрат на проектирование

Определение бюджета затрат на проект приведено в таблице 12.

Таблица 12– Расчёт бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Для S7-300 сумма, руб.	Для S7- 1500 сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	390	390	Пункт 1.3.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	6829,7	2057,5	Пункт 1.3.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	159016,48	159016,48	Пункт 1.3.3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	48022,98	48022,98	Пункт 1.3.4
5. Накладные расходы	34281,47	33517,91	16 % от суммы ст. 1-5
6. Бюджет затрат НТИ	248540,63	243004,87	Сумма ст. 1- 6

$$\sum \text{бюджета}(1) = 248540,63 \text{ рублей} - \text{для контроллера } S7 - 300$$

$$\sum \text{бюджета}(2) = 243004,87 \text{ рублей} - \text{для контроллера } S7 - 1500$$

6.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Таблица 13 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4	5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	5
3. Помехоустойчивость	0,15	3	4
4. Энергосбережение	0,20	5	4
5. Надежность	0,25	5	5
6. Материалоемкость	0,15	4	5
ИТОГО	1		

$$I_{p-ucn1} = 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 4,1;$$

$$I_{p-ucn2} = 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 = 4,35;$$

Таблица 14 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,1	4,5
3	Интегральный показатель эффективности	4,1	4,5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,22	1,24

Таким образом, исполнение № 2 является наиболее функциональным и ресурсоэффективным по сравнению с исполнением № 1. Оба исполнения с финансовой точки зрения одинаково эффективны.

Для оценки ресурсоэффективности проекта в части сроков и стоимости целесообразно использовать метод «освоенного объема» (earned value). Он используется для того, чтобы контролировать ход проекта, то есть ответить в некоторой контрольной точке на вопрос «где мы находимся по сравнению с планом?», оценить степень достижения результата и понесенные затраты.

При сравнении фактического (ACWP — Actual Cost of Work Performed — фактическая стоимость выполненных работ) и планового (BCWS — Budgeted Cost of Work Scheduled — сметная стоимость запланированных к выполнению за рассматриваемый период времени работ) количества потраченных ресурсов на заданный момент времени, то есть при контроле бюджета проекта, возникает неоднозначность в интерпретации причин отклонений.

В предпроектном анализе была проведена сегментация рынка, в которой были выведены потребители, использующие данный продукт. Также были приведены конкуренты, которые делают схожий продукт. Было проведено сравнение конкурентных, технических решений в результате которого было

установлено, что разработка имеет высокий уровень конкурентоспособности. В дальнейшем был произведен SWOT-анализ, согласно которого были определены сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы которым может быть подвержен проект. Также была сделана диаграмма Исикавы, по которой можно увидеть все возможные слабые места проекта.

В результате рассмотрения данных статей, были сделаны соответствующие выводы. Сумма расходов на материалы составила 390 рублей. Расходы на приобретения спецоборудования составили 233188 рублей для контроллера S7-300 и 82300 рублей для контроллера S7-1500. Амортизация для S7-300 будет составлять 6829,7 рублей и 2057,5 рублей для S7-1500. Затраты на основную заработную плату обошлись в 139872,03 рублей, отчисления во внебюджетный фонд вышли в 48022,98 рублей. Накладные расходы для контроллера S7-300 получились 30289,93 рублей, для контроллера S7-1500 получились 29526,38 рублей. И в конечном итоге сумма затрат НТИ для контроллера S7-300 вышла 248540,63 рублей, для контроллера S7-1500 вышла 243004,87 рублей.

Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности исследования показало, что исполнение № 2 является наиболее функциональным и ресурсоэффективным по сравнению с исполнением № 1. Оба исполнения с финансовой точки зрения одинаково эффективны.

7 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

В данном разделе выпускной квалификационной работы дается характеристика проводимых работ, рабочему месту и рабочей зоны. Проанализированы опасные и вредные факторы труда, а также разработан комплекс мероприятий снижающий негативное воздействие проектируемой деятельности на работников, общество и окружающую среду.

Научно-технический прогресс внес серьезные изменения в условия производственной деятельности работников умственного труда. Их труд стал более интенсивным, напряженным, требующим значительных затрат умственной, эмоциональной и физической энергии. Это потребовало комплексного решения проблем эргономики, гигиены и организации труда, регламентации режимов труда и отдыха.

С каждым годом возрастает интенсивность применения компьютерной техники в сферах жизнедеятельности человека. При работе с компьютером человек подвергается воздействию ряда опасных и вредных производственных факторов: электромагнитных полей, радиочастотному (высоких, ультра высоких и средних частот), инфракрасному и ионизирующему излучениям, шуму и вибрации, статическому электричеству. Работа с компьютером характеризуется значительным умственным напряжением, высокой напряженностью зрительной работы и большой нагрузкой на кисти рук при работе с периферийными устройствами ЭВМ.

В рамках выпускной квалификационной работы разработан и исследован псевдолинейный регулятор для систем автоматического регулирования

объектами с запаздыванием. Работа над проектом осуществлялась в аудитории 113б с персональными компьютерами, расположенной на кафедре автоматики и компьютерных систем в 10 корпусе Томского политехнического университета.

7.1 Производственная безопасность

7.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

При разработке устройства могут возникнуть вредные и опасные факторы. Используя ГОСТ 12.0.003-74 [2], можно выделить ряд факторов, приведенных в таблице 15. Так же приведены источники факторов и нормативные документы, регламентирующие действие каждого фактора.

Таблица 15 – Опасные и вредные факторы при разработке устройства

Источник фактора	факторы		Нормативные документы
	вредные	опасные	
Персональный компьютер	<ul style="list-style-type: none"> – нарушение параметров микроклимата – повышение шума – недостаточное освещение – электромагнитные излучения 	<ul style="list-style-type: none"> опасность поражения электрическим током 	<ul style="list-style-type: none"> 1. СанПиН 2.2.4.548–96 [3] 2. СН 2.2.4/2.1.8.562–96 [4] 3. СанПиН 2.2.2/2.4.134003 [5] 4. СНиП 23-05-95 [6] 5. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 [7] 6. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ [8]

7.1.2 Микроклимат

Одним из важных параметров рабочей зоны является окружающая среда. Температура, давление и влажность влияют на условия электробезопасности. Кроме того, метеоусловия в помещении, используемом для разработки, оказывают существенное влияние на качество работы и производительность труда, а также на здоровье работников.

По степени физической тяжести работа инженера-программиста относится к категории лёгких работ. В соответствии с временем года и категорией тяжести работ определены параметры микроклимата согласно требованиям [12] и приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Оптимальные и допустимые нормы микроклимата.

Период года	Температура, ° С					Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	Оптим альная	Допустимая на рабочих местах				Оптим альная	Допу стима я	Опти мальн ая, не более	Допус тимая, не более
		Верхняя		Нижняя					
		Пост. 	Не пост.	Пост. 	Не пост.				
Холодный	22 – 24	25	26	21	18	40 – 60	75	0,1	0,1
Теплый	23 – 25	28	30	22	20	40 – 60	70	0,1	0,1

В помещении, где производится разработка температура и влажность воздуха поддерживается в заданных в таблице пределах.

Таким образом, нет необходимости в принятии дополнительных мер для создания благоприятных условий.

7.1.3 Шум

Наиболее распространенным вредным фактором на производстве является шум. Шумовое загрязнение среды на рабочем месте неблагоприятно воздействует на работающих: появляется раздражительность, повышается утомляемость, ослабевает внимание, замедляется скорость психических реакций и т.п. В результате снижается производительность труда и качество выполняемой работы. Продолжительное воздействие шума может привести к ухудшению слуха или даже к его полной потере.

Стандарт [14] распространяется на технологическое оборудование, машины и другие источники шума, которые создают в воздушной среде все виды шумов.

Предельно допустимые нормы [15] уровня шума для рабочих мест приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Допустимые уровни звукового давления и уровня звука на рабочих местах

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в активной полосе частот, Гц								Уровни звука, дБ
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
А	71	61	54	49	45	42	40	38	50

А – помещение конструкторских бюро, лаборатории для теоретических работ.

Уровень шумов от компьютеров (шум вентиляторов системы охлаждения) соответствует пункту А таблицы 16, т.е. его уровень соответствует норме.

7.1.4 Недостаточная освещенность

Правильное освещение помещений и рабочих зон – одно из главных условий создания безопасных и благоприятных условий труда. При недостаточной освещенности развивается утомление зрения, понижается общая работоспособность и производительность труда, возрастает количество брака, повышается опасность производственного травматизма, низкая освещенность способствует развитию близорукости.

По санитарно-гигиенических нормам рабочее место должно иметь естественное и искусственное освещение. При работе должен быть отчетливо виден процесс деятельности, без напряжения зрения и прямого попадания лучей источника света в глаза.

Работа за компьютером относится к разряду зрительной работы средней точности. Наименьший размер объекта различения составляет (0.5 – 1) мм. По нормам [13] рекомендуемая освещенность помещения для данного разряда 400 лк (таблица 17).

Таблица 17 – нормы освещенности

Разряд зрительной работы	Характеристика	Подразряд	Освещенность (комбинированная система), Лк	Освещенность (общая система), Лк
IV	Средней точности	Б	500	200

Требования к освещению рабочих мест, оборудованных персональным компьютером, показаны в таблице 18 в с нормами [13].

Таблица 18 – Требования к освещению на рабочих местах

Освещенность на рабочем столе	(300-500) лк
Освещенность на экране ПК	не выше 300 лк
Блики на экране	не выше 40 кд/м ²
Прямая блескость источника света	200 кд/м ²
Показатель ослеплённости	не более 20
Показатель дискомфорта	не более 15
Отношение яркости:	
– между рабочими поверхностями	3:1–5:1
– между поверхностями стен и оборудования	10:1
Коэффициент пульсации:	не более 5 %

Искусственное освещение осуществляется с использованием газоразрядных люминесцентных ламп низкого давления типа ЛБ-40, в количестве 9 светильников в каждом по 4 лампы.

7.1.4.1 Расчет искусственного освещения

Задачей расчета является выполнение общего равномерного освещения помещения. Размеры помещения 15·8·4 м, высота рабочей поверхности $h_{pn} = 0,8$ м. Требуется создать освещенность $E = 300$ лк.

Световой поток лампы определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_M \cdot S \cdot Z \cdot K_{\text{э}}}{N \cdot \eta}$$

Коэффициентотражения стен $R_c=50\%$, потолка $R_n=70\%$.

Коэффициент запаса $k = 1,8$, коэффициент неравномерности $Z = 1,1$.

Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения. Выбираем светильники типа ОД, $\lambda = 1,4$.

Приняв $h_c = 0,5$ м; получаем $h=4-0,5-0,8=2,7$ м;

$$L=1,4 \cdot 2,7=3,78 \text{ м}; \quad L/3=1,26 \text{ м}$$

Размещаем светильники в три ряда. В каждом ряду можно установить 8 светильников типа ОД мощностью 40 Вт (с длиной 1,23 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 50 см. Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N = 48$.

Находим индекс помещения:

$$i=120 / [2,7 \cdot (15+8)]=1,93$$

Коэффициент использования светового потока: $\eta=0,61$.

$$\Phi = \frac{300 \cdot 120 \cdot 1,8 \cdot 1,1}{48 \cdot 0,61} = 2434,43 \text{ Лм.}$$

Определяем потребный световой поток ламп в каждом из рядов, выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛТБ 40 Вт с потоком 2850 лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10 \% \leq (\Phi_{\text{ст}} - \Phi_{\text{расч}}) / \Phi_{\text{ст}} 100 \% \leq 20 \%$$

$$-10 \% \leq (2850 - 2434,43) / 2850 100 \% \leq 20 \%$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки
 $P = 48 \cdot 40 = 1920 \text{ Вт}$

7.1.5 Электромагнитные излучения

Вредные проявления факторов рассматриваемой рабочей зоны выражаются в электромагнитном и электрическом излучениях (ЭМИ и ЭСИ). Объясняется это тем, что ПК оснащают сетевыми фильтрами, источниками бесперебойного питания и другим оборудованием, что в совокупности формирует сложную электромагнитную обстановку на рабочем месте пользователя. Техногенные ЭМП приводят к следующему: появление головной боли, повышение температуры тела, ожоги, катаракты. Радиочастотное ЭМП влияет на нервную и сердечно – сосудистую системы [1].

Источником ЭСП является экран ПК и трение поверхности клавиатуры и компьютерной мыши. ЭСП может способствовать нарушению гормональной и иммунной систем. Показатели ЭМИ и ЭСИ на рабочих местах с ПК представлены в таблице 19 [11]:

Таблица 19 – Допустимые уровни напряженности электромагнитных полей по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03

Параметры воздействия, частота излучения		Допустимые значения
Статическое поле		20 000 В/м
На расстоянии 50 см вокруг	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Переменное поле на расстоянии 50 см вокруг		0,25 А/м
Магнитная индукция не более	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Поверхностный электростатический потенциал не более		500 В

Длительное воздействие электромагнитного поля на организм человека может привести к дыхательной, нервной и сердечнососудистой систем, головным болям, утомляемости. Для обеспечения меньшего уровня электромагнитного излучения использован жидкокристаллический монитор. Необходимо чтобы компьютер был заземлен, а так же необходимо по возможности сокращать время работы за компьютером.

7.1.6 Электробезопасность

Электрический ток относится к категории опасных факторов. В помещении, где производится разработка устройства, присутствует большое количество аппаратуры, использующей однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50 Гц, в том числе персональный компьютер за которым происходит наладка программного обеспечения. Согласно ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ [8] и ПУЭ, по опасности электропоражения данное помещение относится к помещениям без повышенной опасности. Это обусловлено отсутствием высокой влажности, высокой температуры,

токопроводящей пыли и возможности одновременного соприкосновения с заземленными предметами и металлическими корпусами оборудования. Во время нормального режима работы оборудования опасность электропоражения крайне мала, однако, возможны аварийные режимы работы, когда происходит случайное электрическое соединение частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями.

Поражение человека электрическим током может произойти в следующих случаях:

- при прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ПЭВМ;
- при однофазном (однополюсном) прикосновении незаземленного от земли человека к незаземленным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, находящимся под напряжением, то есть в случае нарушения изоляции;
- при соприкосновении с полом и стенами, оказавшимися под напряжением;
- при возможном коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания, блоке развертки монитора.

Мероприятия по устранению опасности поражения электрическим током сводятся к правильному размещению оборудования и применению технических средств защиты. К основным техническим средствам защиты от поражения электрическим током (ГОСТ ИЕС 61140-2012) относятся:

- изоляция токопроводящих частей;
- защитное заземление;

- зануление;
- защитное отключение;
- предупредительная сигнализация и блокировки.

Также рекомендуется проведение ряда организационных мероприятий (специальное обучение, аттестация и переаттестация лиц электротехнического персонала, инструктажи и т. д.).

7.1.7 Психофизиологические факторы

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве – это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека. На фоне нормального протекания производственных процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03).

Существуют следующие меры по снижению влияния монотонности:

- необходимо применять оптимальные режимы труда и отдыха в течение рабочего дня;
- соблюдать эстетичность производства.

Для уменьшения физических нагрузок организма во время работы рекомендуется использовать специальную мебель с возможностью регулировки под конкретные антропометрические данные, например, эргономичное кресло.

7.2 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов (техника безопасности и производственная санитария)

Для создания и поддержания в лаборатории оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года должно использоваться водяное отопление, а в теплое время года применяться кондиционирование воздуха.

На рабочем месте должно применяться также искусственное освещение помимо естественного, которое осуществляется системой общего равномерного освещения, а при работе с документами следует применять комбинированное освещение. Кроме того, рабочий стол следует размещать таким образом, чтобы естественный свет падал слева.

Работа за компьютером относится к V зрительному разряду (работа малой точности). Следовательно, требуемая освещенность помещения может быть обеспечена следующими типами ламп:

- люминесцентная лампа белого свечения (ЛБ) или холодного белого свечения (ЛХБ);
- металл галогенная лампа (МГЛ);
- ртутная лампа высокого давления (ДРЛ);

На рабочем месте желательно применение комбинированной системы освещения: люминесцентные лампы типа ЛД. Люминесцентные лампы имеют ряд существенных преимуществ: излучаемый ими свет близок к дневному,

естественному свету; обладают повышенной светоотдачей, имеют более длительный срок службы [10].

Согласно ГОСТ 12.1.003-2014[12] эквивалентный уровень звука не должен превышать 65 дБА.

В качестве мер по снижению шума можно предложить следующее:

- облицовка потолка и стен звукопоглощающим материалом. Снижает шум на 6-8 дБ;
- рациональная планировка помещения.
- установка в компьютерных помещениях оборудования, производящего минимальный шум;
- экранирование рабочего места, путем постановки перегородок, диафрагм;

Дисплеи должны проходить испытания на соответствие требованиям безопасности, например, международным стандартам MRP 2, TCO 99.

7.3 Экологическая безопасность

Экологическая безопасность - это состояние, при котором в регионе защищены региональные интересы в широком их понимании, включающем политические, социальные, экономические, военные, экологические аспекты, риски, связанные с внешнеэкономической деятельностью, распространением оружия массового поражения, а также предотвращения угрозы духовным и интеллектуальным ценностям населения региона.

На сегодняшний день одним из самых распространенных источников ртутного загрязнения являются вышедшие из эксплуатации люминесцентные лампы. Каждая такая лампа, кроме стекла и алюминия, содержит около 60 мг ртути. Поэтому отслужившие свой срок люминесцентные лампы, а также другие приборы, содержащие ртуть, представляют собой опасный источник токсичных веществ.

В целом, утилизация ламп предполагает передачу использованных ламп предприятиям – переработчикам, которые с помощью специального оборудования перерабатывают вредные лампы в безвредное сырье – сорбент, которое в последующем используют в качестве материала для производства, например, тротуарной плитки.

Под хранением отходов понимается временное размещение их в специально отведённых для этого местах или объектах до их утилизации. Отработанные люминесцентные лампы, согласно Классификатору отходов ДК 005-96, утвержденному приказом Госстандарта № 89 от 29.02.96 г., относятся к отходам, которые сортируются и собираются отдельно, поэтому утилизация люминесцентных ламп и их хранение должны отвечать определенные требованиям [50].

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Вероятной чрезвычайной ситуацией возникающей при проведении анализа динамических свойств системы автоматического регулирования скорости двигателя с интервальными параметрами является пожар.

При этом причинами возникновения пожара могут быть:

- неисправности электропроводки, розеток и выключателей которые могут привести к короткому замыканию или пробоем изоляции;
- использование поврежденных (неисправных) электроприборов;
- использование в помещении электронагревательных приборов с открытыми нагревательными элементами;
- возникновение пожара вследствие попадания молнии в здание;
- возгорание здания вследствие внешних воздействий;
- неаккуратное обращение с огнем и несоблюдение мер пожарной безопасности.

Пожарная профилактика представляет собой комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращении пожара, ограничение его распространения, а также создание условий для успешного тушения пожара. Для профилактики пожара чрезвычайно важна правильная оценка пожароопасности здания, определение опасных факторов и обоснование способов и средств пожар предупреждения и защиты[16].

Одно из условий обеспечения пожаробезопасности - ликвидация возможных источников воспламенения. В целях предотвращения пожара предлагается проводить с инженерами, работающими в лаборатории, противопожарный инструктаж.

В лаборатории источниками воспламенения могут быть неисправное электрооборудование, неисправности в электропроводке, электрических розетках и выключателях.

Несоблюдение мер пожарной безопасности и курение в помещении также может привести к пожару. Поэтому курение в помещении лаборатории необходимо категорически запретить.

В случае возникновения пожара необходимо отключить электропитание, вызвать по телефону пожарную команду, эвакуировать людей из помещения согласно плану эвакуации и приступить к ликвидации пожара углекислотными огнетушителями.

При наличии небольшого очага пламени можно воспользоваться подручными средствами с целью прекращения доступа воздуха к объекту возгорания.

Рабочее место должно соответствовать требованиям ФЗ Технический регламент по ПБ и норм пожарной безопасности (НПБ 105-03) и удовлетворять требованиям по предотвращению и тушению пожара по ГОСТ 12.1.004-91 и СНиП 21-01-97.

По пожарной, взрывной, взрывопожарной опасности помещение относится к категории В – горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть.

Основным поражающим фактором пожара для помещений данной категории является наличие открытого огня и отравление ядовитыми продуктами сгорания оборудования.

В качестве средств пожаротушения применяются устанавливаемые в коридорах и на лестничных площадках пожарные краны. В качестве средства первичного средства пожаротушения следует использовать огнетушители, подходящие для тушения электроустановок, в частности, порошковые огнетушители. Углекислотные огнетушители также подходят для тушения электроустановок, однако, из-за опасности испарений огнетушащего вещества не подходят для использования в замкнутом помещении. План эвакуации предоставлен на рисунке 58:

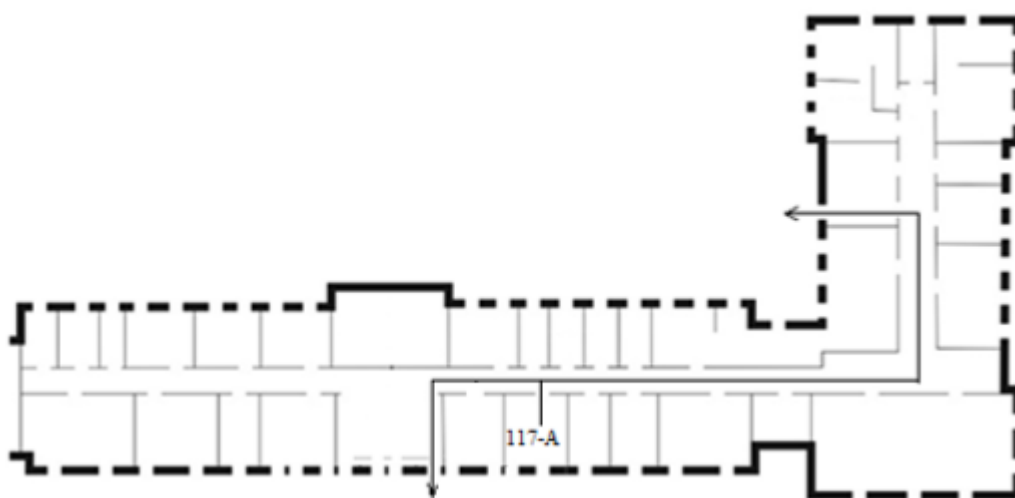


Рисунок 58 – План эвакуации при пожаре и других ЧС из помещений учебного корпуса №10, пр. Ленина, 2, 1-й этаж

7.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Законодательство РФ об охране труда основывается на Конституции РФ и состоит из федерального закона, других федеральных законов и иных нормативных правовых актов субъектов РФ. Среди них можно выделить федеральный закон “Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний”.

За состоянием безопасности труда установлены строгие государственный, ведомственный и общественный надзор и контроль.

Государственный надзор осуществляют специальные государственные органы и инспекции, которые в своей деятельности не зависят от администрации контролируемых предприятий. Это Прокуратура РФ, Федеральный горный и промышленный надзор России, Федеральный надзор России по ядерной и радиационной безопасности, Государственный энергетический надзор РФ, Государственный комитет санитарноэпидемиологического надзора РФ (Госкомсанэпиднадзор России), Федеральная инспекция труда при Министерстве труда РФ; Министерство РФ по атомной энергии.

Контроль за состоянием условий труда на предприятиях осуществляют специально созданные службы охраны труда совместно с комитетом профсоюзов. Контроль за состоянием условий труда заключается в проверке состояния производственных условий для работающих, выявлении отклонений от требований безопасности, законодательства о труде, стандартов, правил и норм охраны труда, постановлений, директивных документов, а также проверке выполнения службами, подразделениями и отдельными группами своих

обязанностей в области охраны труда. Этот контроль осуществляют должностные лица и специалисты, утвержденные приказом по административному подразделению. Ответственность за безопасность труда в целом по предприятию несут директор и главный инженер.

Ведомственные службы охраны труда совместно с комитетами профсоюзов разрабатывают инструкции по безопасности труда для различных профессий с учетом специфики работы, а также проводят инструктажи и обучение всех работающих правилам безопасной работы. Различают следующие виды инструктажа: вводный, первичный на рабочем месте, повторный внеплановый и текущий.

Результаты всех видов инструктажа заносят в специальные журналы. За нарушение всех видов законодательства по безопасности жизнедеятельности предусматривается следующая ответственность: дисциплинарная, административная, уголовная, материальная.

Рабочее место, хорошо приспособленное к трудовой деятельности работника, правильно и целесообразно организованное, в отношении пространства, формы, размера обеспечивает ему удобное положение при работе и высокую производительность труда при наименьшем физическом и психическом напряжении.

Рабочее место - это часть пространства, в котором работник осуществляет трудовую деятельность, и проводит большую часть рабочего времени.

Согласно ГОСТ 12.2.032-78 конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям [17].

Кроме того, стоит сократить время работы за компьютером, делать перерывы при 8-ми часовой смене.

Письменный стол и офисное кресло являются главными составляющими на рабочем месте. Основным рабочим положением является положение сидя. Поэтому для исключения возникновения заболеваний, связанных с малой подвижностью работника, необходимо иметь возможность свободной перемены поз.

Кроме того, необходимо соблюдать режим труда и отдыха с перерывами, заполняемыми “отвлекающими” мышечными нагрузками на те звенья опорно-двигательного аппарата, которые не включены в поддержание основной рабочей позы.

Рабочий стул должен быть снабжен подъемно-поворотным механизмом. Высота сиденья должна регулироваться в пределах (400 - 500) мм. Глубина сиденья должна составлять не менее 380 мм, а ширина - не менее 400 мм. Высота опорной поверхности спинки не менее 300 мм, ширина - не менее 380 мм. Угол наклона спинки стула к плоскости сиденья должен изменяться в пределах (90 – 110) °.

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы был разработан, исследован и программно реализован на контроллере SIMATIC S7-300 псевдолинейный регулятор для объектов управления с запаздыванием. Проводилось исследование САР с объектом управления первого, второго и третьего порядка. В результате исследования выявлено, что использование разработанного псевдолинейного регулятора способствует улучшению качества системы управления при изменении параметров объекта управления (запаздывания).

Программная реализация псевдолинейного регулятора была произведена в программном пакете STEP7 на языке программирования FBD.

Были разработаны методические указания по выполнению лабораторной работы «Изучение псевдолинейного регулятора для объектов управления с запаздыванием» которые будут использоваться в учебном процессе отделения автоматизации и робототехники при изучении курса адаптивные системы управления.

The Conclusion

As a result of the implementation of final qualifying work, a pseudo-linear regulator for control objects with delay was developed, investigated and programmatically implemented on the SIMATIC S7-300 controller. ATS was studied with the control object of the first, second and third order. As a result of the study, it was revealed that the use of the developed pseudo-linear regulator contributes to the improvement of the quality of the control system when changing the parameters of the control object (lag).

The software implementation of the pseudo-linear controller was made in the STEP7 software package in the FBD programming language.

Guidelines were Developed for the implementation of the laboratory work “Creation of information and control programs in FBD for control objects with a pseudo-linear regulator delay” that will be used in the learning process of the automation and robotics department when studying the course adaptive control systems.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лукин А.Н Теория автоматического управления. Магнитогорск: МГТУ, 2004 – 198.
2. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования, издание третье, исправленное. – М: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1975– 768 с.
3. Современная прикладная теория управления: Новые классы регуляторов технических систем/ Под ред. А.А. Колесникова. Таганрог: ТРТУ, 2000. ч.III.
4. Зайцев Г.Ф. Теория автоматического управления и регулирования. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Выща шк. Головное изд-во, 1989. – 421 с.
5. Попов Е.П., Теория линейных систем автоматического регулирования и управления: Учеб. пособие для втузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 304 с.
6. Власов К.П. Теория автоматического управления: Учебное пособие. – Х.: Изд-во Гуманитарный центр, 2007. – 526 с.
7. Воронов А.А. Основы теории автоматического регулирования и управления. Учеб. пособие для вузов. М.: Высш. школа, 1977 – 519 с., ил.
8. Солодовников В.В., Плотников В.Н., Яковлев А.В. Теория автоматического управления техническими системами: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ, 1993. – 492 с., ил.

9. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: Учеб. пособие. – М.: ФИЗМФТЛИТ, 2004. – 464с)
10. ЕВСЕЕНКО О. Н Обзор существующих типов регуляторов температуры тепловых объектов, Магнитогорск: НТУ, 2015 – 193.
11. https://www.siemens-pro.ru/s7-300-modules/PS_405_PS_407.html
12. <http://siemens.elcomplex.com/index.php?tree=1000000&tree2=10007430&tree3=9309999&tree4=10021868&tree5=10036892&tree6=10036893>
13. [https:// findpatent.ru/patent/201/2012030.html](https://findpatent.ru/patent/201/2012030.html)
14. СанПиН 2.22.542-96 Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. М.: Госкомсанэпиднадзор, 1996.
15. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Минздрав России, 1997.
16. СП 52.13330.2011 Свод правил. Естественное и искусственное освещение.
17. Расчет искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. - Томск: Изд. ТПУ, 2008. - 12 с
18. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
19. ГОСТ 12.1.003-83 Шум Общие требования безопасности, 1983.

20. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».

21. Словари и энциклопедии [Электронный ресурс]. URL: http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_medicine/

22. ГОСТ 12.1.019–85 Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты, 1985.

23. НПБ 105-95. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности, утв. Приказом ГУ ГПС МВД РФ от 31.10.95 № 32.

24. Постановление от 30 декабря 2003 г. N 794 О Единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_159106/

25.Международный стандарт «Социальная ответственность организации. Требования». 2011.

26.ГОСТ Р 55710-2013. «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений».

27.ГОСТ 12.1.009-76. «Электробезопасность. Термины и определения».

28.СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».

29.ГОСТ 12.2.032-78. «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».

Приложение А

(обязательное)

Раздел ВКР выполненный на иностранном языке

Раздел 1. Обзор корректирующих устройств систем автоматического регулирования

Section 1. Review of corrective devices of automatic control systems

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	Дай Сюэсун		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, ОАР ИШИТР	Скороспешкин М. В.	к.т.н.		

Консультант-лингвист:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Сидоренко Т. В.	к.п.н.		

Introduction

Any technical devices, including automatic control systems, must meet the requirements of a general technical nature, such as reliability, noise immunity, manufacturability of the design, ease of operation, and others. Among them, the most distinguished requirements for regulation and control accuracy, therefore, the main task in designing automatic control systems (CAP) is the choice of the structure and parameters of the CAP, elements and methods for their technical implementation, enabling the implementation of high quality regulation, accuracy and speed.

Often, when designing automatic control systems, it is suggested that the nature of disturbances affecting the SAR is known, and the system parameters under operating conditions do not change or change within small limits. In fact, there is a possibility that during the operation of the system, the characteristics of the control object (OU) and the environmental parameters that affect the OU change in an unexpected way, which leads to a deviation of the management process from the intended one, as well as a deterioration in quality indicators.

Today, to improve the quality of automatic control systems, special corrective devices are widely used, which allow changing the characteristics of the automatic control system in accordance with the requirements set for them. The regulator is designed on the basis of the PID controller and a pseudo-linear correction device with phase advance. The work is aimed at improving the quality of automatic control systems for objects with a delay, when changing the parameters of the control object within certain limits.

1. Review of corrective devices of automatic control systems

Improving the quality of the regulatory process is not only improving the accuracy in standard modes, but also changing the dynamic properties of the regulatory system in order to obtain the necessary stability and performance margin. The main importance of this problem is the provision of sustainability.

In terms of solving the problems of increasing the sustainability margin of the developed automatic control system, it is necessary to first make an attempt to change its parameters in a rational way (transfer coefficients of individual links, time constants, etc.) so as to meet the quality requirements of the regulation determined by the quality criteria. If this task is not feasible under the conditions of the existing system, it is necessary to change (adjust) its structure.

The correction of automatic control systems (ACS) is a change in their dynamic properties (characteristics) in order to provide the required stability margin, increase the dynamic accuracy and quality indicators of the transition process. Correction is implemented by connecting additional elements into the system - correction devices [4], which change the dynamics of the complete system in the required direction. Corrective units, which are dynamic units with certain transfer functions, can be referred to corrective devices.

The main task of the corrective device is to improve the accuracy of the system and the quality of transients. However, at the same time, by introducing corrective devices, the general problem can be solved, namely, to make the system stable if it was unstable without them, and later to achieve the required quality of the regulatory process.

In the case of the use of corrective links or to obtain the stability of the regulatory system, or to increase its stability margin, they are called appropriately, either damping or stabilizing links. That is, the links smooth out the oscillations arising in this regulatory system. The term “corrective links” is also used for links used in the system to change static and dynamic properties [3].

All corrective devices that are used in the ACS are classified into linear and non-linear corrective devices.

1.1 Linear corrective devices

Linear corrective devices have both advantages and disadvantages. These include a hard relationship between the amplitude and phase frequency characteristics. As an example, we can consider differentiating phase-anticipating chains, which create a positive shift, but at the same time bring attenuation in the low-frequency region, i.e., in the spectrum of the useful signal. Therefore, it is possible to observe the low noise immunity of the differentiating circuits. It is necessary that the corrective devices realize phase advance without changing the amplitude characteristic, attenuate high frequencies without changing the phase response, provide phase advance and simultaneously suppress high frequencies. This series of problems is solved using nonlinear corrective devices.

The use of linear corrective devices may contribute to the increase in some limits of the value of the system gain, but it is not possible to remove this contradiction and the need for a compromise solution in the case of choosing the system gain and adjusting the correction device. However, it is possible to eliminate this contradiction by using non-linear corrective devices that change the effect on the system depending

on the system error.

1.2 Non-linear correction devices

As a result of using nonlinear correction, it is possible to obtain the desired process, an example of which is shown in Figure 1.1 of curve 3. It is clear from the figure that the useful properties of processes 2 and 1 are combined: the initial part of process 3 coincides with process 2 of the linear system, which ensures a high system speed, and the end of process 3 is similar to the end of process 1, i.e. it is monotonous. The achievement of this process is possible by changing the gain of an open-loop system, depending on the magnitude of the error. For large, the value should be large to ensure a rapid decrease in error (the initial part of curve 3), and as it decreases, the value should decrease to complete the transition process without overshoot. The implementation of such a change is possible with the help of a simple serial non-linear correction device (Figure 1.2, a). For large values of the voltage error nonlinear resistance is small and therefore the gain of the circuit is greater. As it decreases, the nonlinear resistance increases, and the gain decreases. The approximate graph of dependence on is shown in Figure 1.2, b. On identical graphics, the system gain is then changed. The disadvantage of correction through the use of this corrective device is that it only changes the systems, without compensating for the harmful effects of the inertia of its elements. Because of this, small values are obtained in steady-state dynamic modes, therefore, large dynamic errors of the system.

With the help of non-linear corrective devices, it is possible to meet the ever-increasing requirements for the quality indicators of the ACS. Nonlinear correction should be considered as a general means of correction, rather than as a linear correction

related to the special case of nonlinear correction. With the help of non-linear corrective devices, it is possible to solve the problem of compensating harmful natural nonlinearities. It should be emphasized that nonlinear correction is the most specialized correction in terms of external influences. There is a possibility that a non-linear correction, which is selected for a particular class of external influences, will be ineffective with a different class of external influences. Therefore, in the case of a wide range of external influences, linear correction becomes better. It is noted that the general methodology for the synthesis of nonlinear corrective devices does not exist; therefore, it is necessary to resort to the use of private methods and nonlinear corrective device circuits.

1.3 Pseudo linear correction devices

Frequency methods are widely used for the analysis and synthesis of nonlinear systems. With this approach, a large variety of nonlinear device circuits suitable for use in the correction circuits of automatic control systems can be distinguished from a certain class of nonlinear corrective devices in which equivalent amplitude-phase characteristics do not depend on the amplitude of the incoming signal. This circumstance allows us to consider non-linear corrective devices of the established class as pseudo-linear. This implies the absence in such devices of a rigid relationship between phase and amplitude characteristics. The marked feature is used in the conditions of developing pseudo-linear corrective device circuits.

In order to form adequate stability stocks when regulating the tasks of stabilization of closed control systems, it is necessary not only to avoid the locus of the amplitude-phase frequency characteristic of an open-loop system from covering the

critical point $(-1, 0)$, but also to create conditions for its removal from this point. This is achieved by using appropriate corrective devices.

Corrective device, in which there are one of the three types of frequency characteristics shown in Figure 1.3, which in turn make it possible to suppress the gain with increasing frequency without phase deviation (Fig. 1.3 a); increase in phase advance with increasing frequency without amplification fluctuation (Fig. 1.3, b); the fall of the gain, which is accompanied by an increase in phase advance with increasing frequency (Fig. 1.3, c), would be the most appropriate corrective device.

By applying a correction device that possesses one or another of the indicated frequency characteristics, it is possible to improve the relative stability of the automatic control system, in other words, increase the stability and stability stock in phase and amplitude.

The steady-state response of the nonlinear link to the input sinusoidal signal

$$x = A \cdot \sin(\omega t)$$

(forced vibrations) are usually non-sinusoidal

$$y = F(x)$$

The approximate concept of forced oscillations, namely, registration of only the base sine wave (hereinafter the first harmonic) in the case of Fourier series decomposition, is equivalent to harmonic linearization of nonlinearity. Guided by the above, it is possible to apply a frequency apparatus created for linear systems in order to find the first harmonic of forced oscillations of the magnitude (2)

Consider the equivalent integral gain or the equivalent AFC nonlinear link

$$J(A, \omega) = a(A, \omega) + j \cdot b(A, \omega)$$

Formula (3) can also be represented as:

$$q(A, \omega) = \sqrt{[a(A, \omega)]^2 + [b(A, \omega)]^2}$$

1.3.1. Analysis of some correction systems

Nonlinear filter with amplitude attenuation.

A nonlinear filter, which allows for the amplitude to fall when the frequency rises without a phase deviation (Figure 1.3, a), can be performed according to the scheme shown in Figure

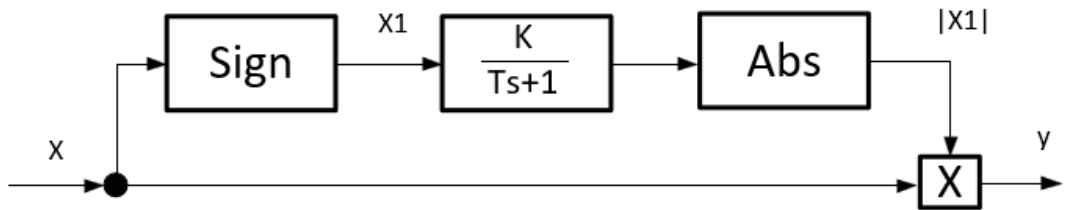


Figure 4 - scheme of a nonlinear filter with amplitude suppression.

The waveform at the characteristic points of the filter is shown in Figure 1.5.

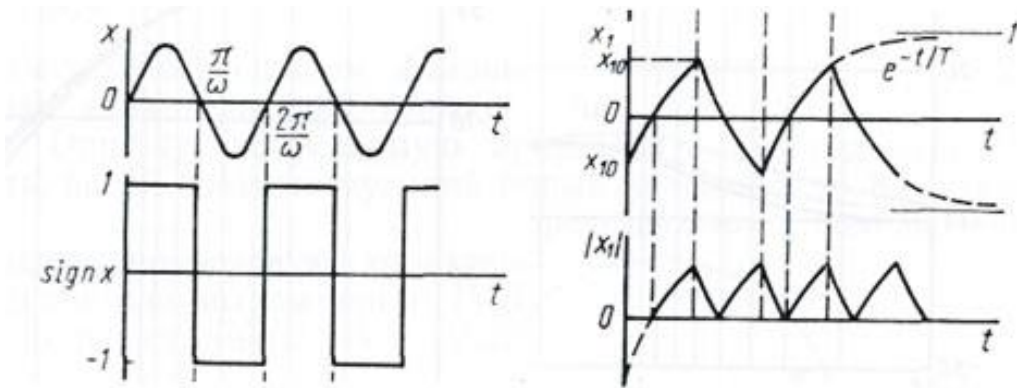


Figure 5- Waveforms at characteristic points of a non-linear filter with amplitude suppression in the case of a sinusoidal input signal

Thus, through the analysis we can consider the signal at the output of the signature block as sinusoidal, then, having performed calculations similar to the ones done above, we obtain the following simplified formulas for a and b.

$$a = \frac{k * 8}{\pi^2 \sqrt{1 + \omega^2 T^2}} \left(1 + \frac{1}{3} \cos 2\theta \right)$$

$$b = \frac{k * 8}{\pi^2 \sqrt{1 + \omega^2 T^2}} \left(\frac{1}{3} \sin 2\theta \right)$$

The logarithmic frequency characteristics of the filter $[q(\omega)]$ and $[\mu(\omega)]$ when calculating a and b.

In the MathCad software package, there were built LAFC and FFH families with the values of the parameter T of the amplitude channel $T = 0 \dots 10$ of the correcting device and at a constant value the coefficient K.

$$T = [0, 0.01, 0.1, 0.5, 0.8, 1, 2, 4, 6, 8, 10] \quad K=1$$

The harmonic linearization coefficients and LAFH and PFC plots with amplitude suppression are shown in Figure 1.6, 1.7.

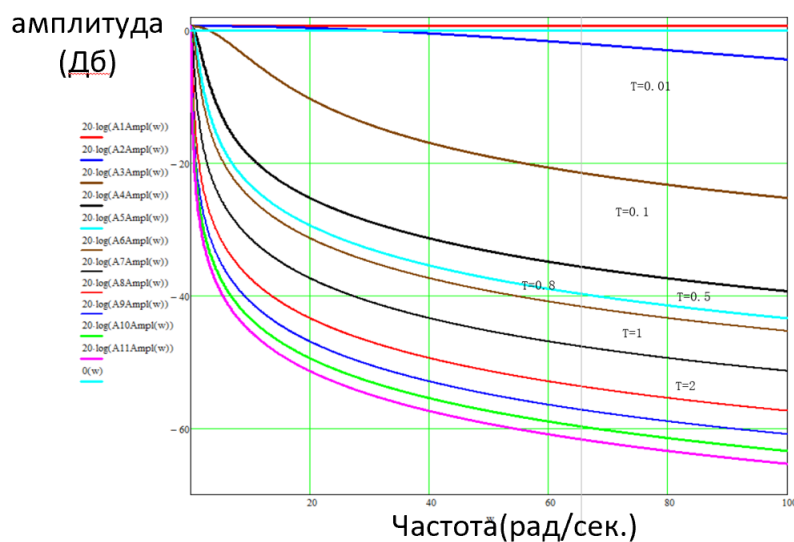


Figure 6 - Family LAFC KU with amplitude suppression for different values of the parameter T

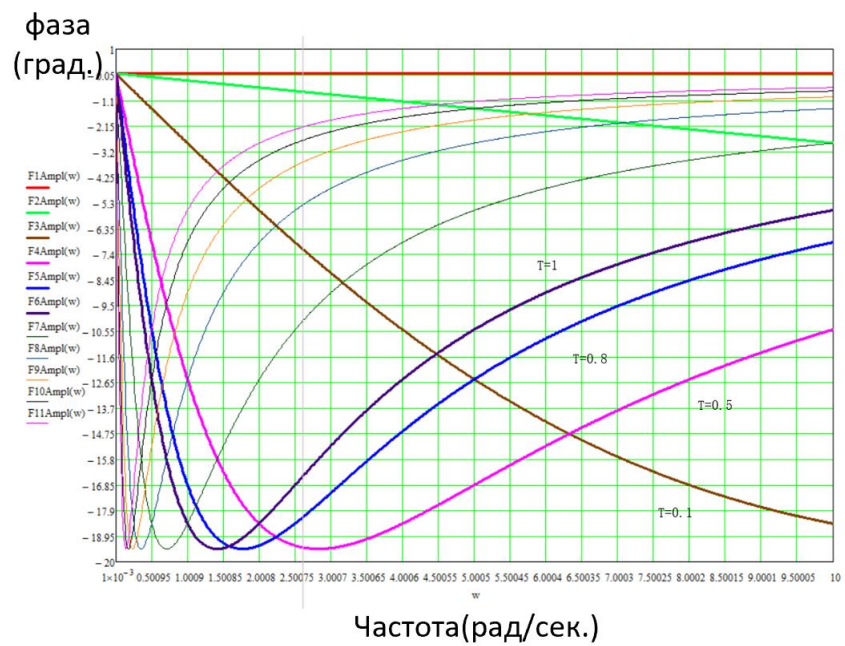


Figure 7 - Family LAFC KU with amplitude suppression for different values of the parameter T

Phase advance nonlinear filter.

Correction creates phase advance without attenuating amplitude. The resulting scheme is shown in Figure 1.8.

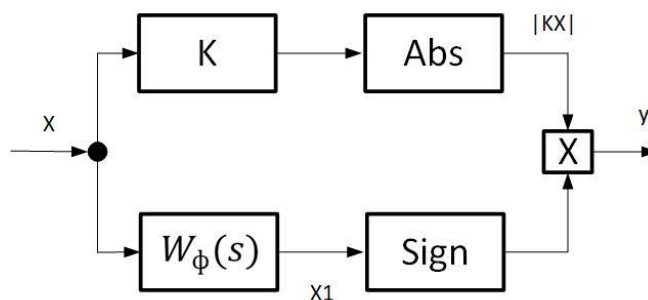


Figure 1.8 - diagram of a nonlinear filter with phase advance

Similarly, the appearance of the nonlinearity characteristic is influenced by the change in frequency and at constant linear filter parameters. The nonlinear characteristics are represented in Figure 1.9.

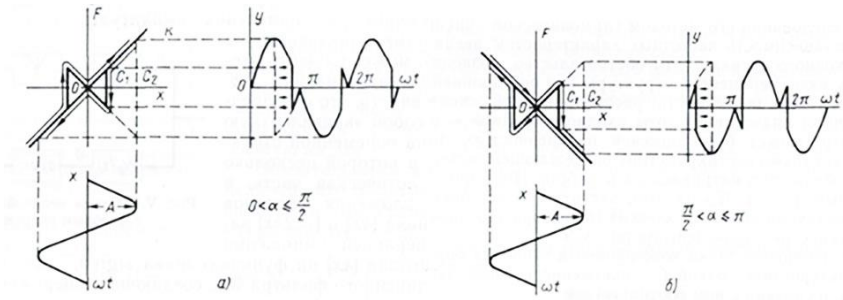


Figure 1.9 - Non-linear characteristics: (a - with phase advance to 90 °; b - with phase advance from 90 ° to 180 °)

If the circuit uses a linear filter with a transfer function.

$$W(s) = \frac{T_1}{T} * \frac{Ts + 1}{T_1s + 1}$$

That advancing them

$$\alpha = \arctg \frac{\omega T(1 - v)}{1 + \omega^2 T^2 v}$$

Then, we get the following expressions for them:

$$a = \frac{\kappa}{\pi} (\pi - 2\alpha + \sin 2\alpha)$$

$$b = \frac{\kappa}{\pi} (1 - \cos 2\alpha)$$

In the MathCad software package, there were built LAFC and FFH families with the values of the parameter T1 of the phase channel T1 = 1 ... 100 correcting devices and with a constant value the coefficient K and T.

$$K=1, T=0.1, T1 = [100, 30, 10, 5, 1]$$

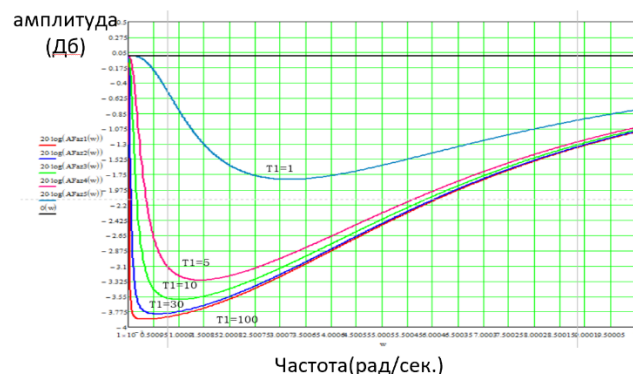


Figure 10 - Family LAFC KU with phase advance for different values of T1

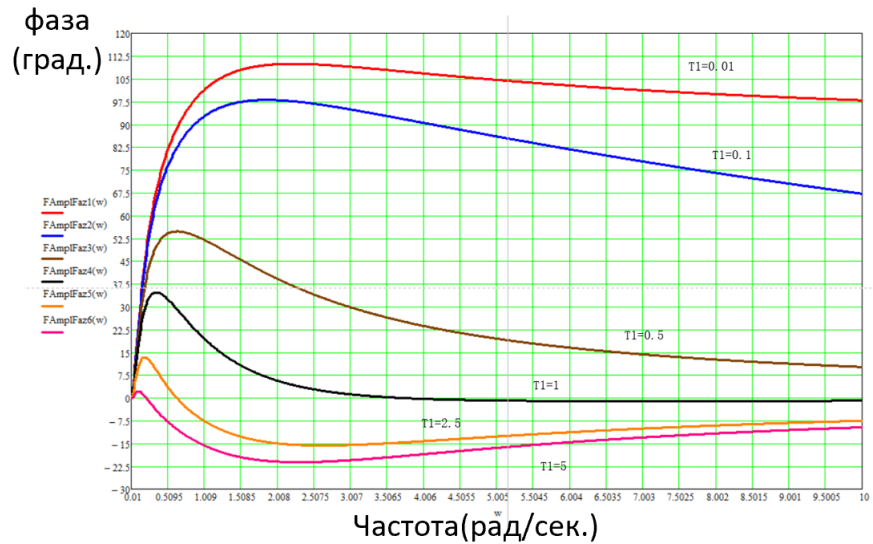


Figure 14 - The family of frequency response KU with separate channels for amplitude and phase for different values of the parameter T2

1.4 Selection of corrective devices

Since the disadvantage of linear corrective devices is a hard relationship between the amplitude and phase frequency characteristics, it is necessary to make a choice of correcting devices that allow the amplitude and phase frequency characteristics to be formed independently of each other.

In this paper, as a corrective device, on the basis of which the control system was developed, a pseudo-linear corrective device with phase advance was chosen. The block diagram of CI is shown above in Figure 1.8.

The composition of the selected correction device includes a linear filter: in the Foz channel, an aperiodic link of the first order:

$$W_A(s) = \frac{T_s + 1}{T_1 s + 1}$$

Improving the quality of regulation of SAR is carried out by changing the parameter T and T1 of the linear element WA (s).

The Conclusion

As a result of the implementation of final qualifying work, a pseudo-linear regulator for control objects with delay was developed, investigated and programmatically implemented on the SIMATIC S7-300 controller. ATS was studied with the control object of the first, second and third order. As a result of the study, it was revealed that the use of the developed pseudo-linear regulator contributes to the improvement of the quality of the control system when changing the parameters of the control object (lag).

The software implementation of the pseudo-linear controller was made in the STEP7 software package in the FBD programming language.

Guidelines were developed for the implementation of the laboratory work “Creation of information and control programs in FBD for control objects with a pseudo-linear regulator delay” that will be used in the learning process of the automation and robotics department when studying the course adaptive control systems.

Приложение Б

Министерство образования и науки РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Утверждаю

«__» _____ 2019 г.

Дай Сюэсун

**Изучение псевдолинейного регулятора для объектов управления с
запаздыванием**

Методические указания к выполнению лабораторной работы № _ по курсу
«адаптивные системы управления» для студентов, обучающихся по
направлению 27.04.04 «Управление в технических системах»

Издательство

Томского политехнического университета

2019г

УДК 681.511.2:681.516.73

ББК _____

П _____

Дай Сюэсун

Методические указания к выполнению лабораторной работы № _ по курсу
«адаптивные системы управление» для студентов, обучающихся по
направлению 27.04.04 «Управление в технических системах»

/ Дай Сюэсун. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета,
2019. –с.

УДК 681.511.2:681.516.73

ББК _____

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию
методическим семинаром кафедры автоматики и компьютерных систем
ИК «___» _____ 2019 г.

Председатель учебно-методической
комиссии _____

Рецензент

Доцент, кандидат технических наук
М.В. Скороспешкин

© Дай Сюэсун, 2019

© Томский политехнический университет, 2019

© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2019

Оглавление

<u>1 Анализ системы псевдолинейной коррекции</u>	124
<u>2 Регуляторы для объектов с запаздыванием</u>	130
<u>2.1 Предиктор Смита</u>	130
<u>2.2 Регулятор Ресвика</u>	131
<u>3. Разработка и исследование систем управления объектами с запаздыванием в среде matlab</u>	133
<u>4 Структура лабораторного комплекса</u>	142
<u>5 Программный пакет STEP7</u>	143
<u>6 Система команд</u>	146
<u>7 Типы данных</u>	147
<u>8 Обзор битовых логических инструкций</u>	152
<u>9 Программа реализации системы автоматического регулирования с запаздыванием с псевдолинейным регулятором на языке программирования FBD в пакете STEP7</u>	156
<u>10 Задание на лабораторную работу</u>	163
<u>11. Содержание отчета</u>	164
<u>12 Контрольные вопросы</u>	164

Цель работы: разработка, исследование и программная реализация псевдолинейного регулятора для объектов управления с запаздыванием.

1 АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ПСЕВДОЛИНЕЙНОЙ КОРРЕКЦИИ

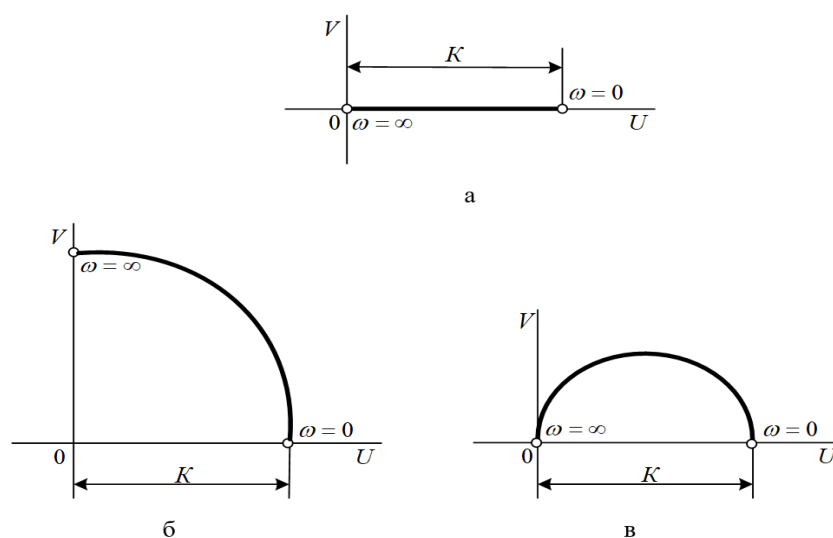
Для целей анализа и синтеза нелинейных систем широко применяются частотные методы. При таком подходе из большого разнообразия схем нелинейных устройств, пригодных для использования в цепях коррекции систем автоматического управления, может быть выделен некоторый класс нелинейных корректирующих устройств, в которых равнозначные амплитудно-фазовые характеристики не зависят от амплитуды входящего сигнала. Данное обстоятельство позволяет рассмотреть нелинейные корректирующие устройства установленного класса как псевдолинейные. При этом подразумевается отсутствие в таких устройствах жесткой взаимосвязи между фазовой и амплитудной характеристиками. Отмеченный признак применяется в условиях разработки схем псевдолинейных корректирующих устройств.

С целью формирования надлежащих запасов устойчивости при регулировании задач стабилизации замкнутых систем управления необходимо не только уклониться годографом амплитудно-фазовой частотной характеристики разомкнутой системы от охвата критической точки $(-1, 0)$, но и создать условия для его удаления от данной точки. Это достигается применением соответствующих корректирующих устройств.

Корректирующее устройство, в котором присутствуют один из трех видов частотных характеристик, изображенных на рисунке 1, которые в свою очередь

делают возможным подавление усиления при росте частоты без отклонения фазы (рисунок. 1, а); нарастание фазового опережения с ростом частоты без колебания усиления (рисунок. 3, б); падение усиления, которое сопровождается повышением фазового опережения при росте частоты (рисунок. 1, в), было бы в наибольшей степени целесообразным корректирующим устройством.

Посредством применения корректирующего устройства, которое обладает теми или иными из указанных частотных характеристик, возможно улучшение относительной устойчивости системы автоматического управления, иначе говоря, повышения запасов устойчивости по фазе и амплитуде.



а - подавление усиления при росте частоты без отклонения фазы;

б - нарастание фазового опережения при росте частоты без колебания усиления;

в - падение усиления, которое сопровождается повышением фазового опережения с ростом частоты.

Рисунок 1 - Изображение желаемых амплитудно-фазовых характеристик корректирующего устройства.

Установившаяся реакция нелинейного звена на входной синусоидальный сигнал

$$x = A \cdot \sin(\omega t) \quad (1)$$

(вынужденные колебания) обычно имеют несинусоидальную форму

$$y = F(x) \quad (2)$$

Аппроксимативное понятие вынужденных колебаний, а именно регистрация лишь базовой синусоиды (далее первой гармоники) в случае разложении в ряд Фурье, равнозначно гармонической линеаризации нелинейности. Руководствуясь сказанным выше, существует возможность применить созданный для линейных систем частотный аппарат с целью нахождения первой гармоники вынужденных колебаний величины (2)

Рассмотрим эквивалентный целостный коэффициент усиления или эквивалентную АФХ нелинейного звена

$$J(A, \omega) = a(A, \omega) + j \cdot b(A, \omega) \quad (3)$$

где $a(A, \omega)$ и $b(A, \omega)$ - зависящие от амплитуды и частоты входного сигнала коэффициенты гармонической линеаризации.

Формулу (3) также можно представить в виде:

$$J(A, \omega) = q(A, \omega) e^{j\mu(A, \omega)} \quad (4)$$

где $q(A, \omega)$ - эквивалентная амплитудная характеристика нелинейного звена

$$q(A, \omega) = \sqrt{[a(A, \omega)]^2 + [b(A, \omega)]^2} \quad (5)$$

где $\mu(A, \omega)$ - эквивалентная фазовая характеристика нелинейного звена.

$$\mu(A, \omega) = \arctg \frac{b(A, \omega)}{a(A, \omega)} \quad (6)$$

Нелинейный фильтр с фазовым опережением.

Коррекция создает фазовое опережение без ослабления амплитуды.

Полученная схема приведена на рисунке 8.

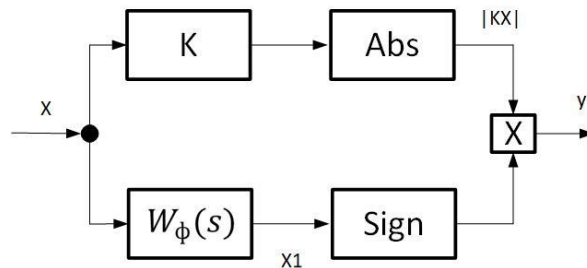
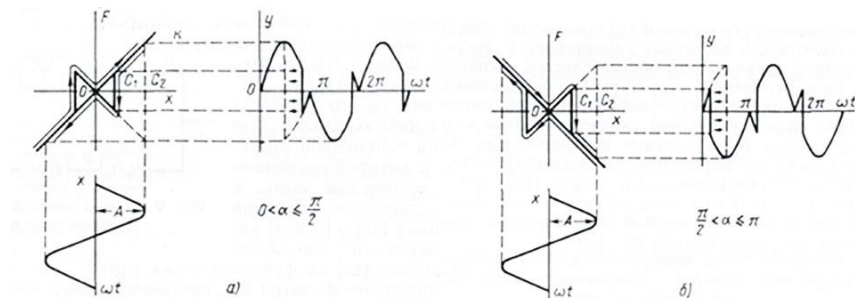


Рисунок 8 - схема нелинейного фильтра с фазовым опережением

Аналогичным образом на вид характеристики нелинейности влияет изменение частоты и при неизменных параметрах линейного фильтра.

Нелинейные характеристики представляет на рисунке 9.



a — при фазовом опережении до 90 °;

б — при фазовом опережении от 90 ° до 180 °

Рисунок 9 - Нелинейные характеристики

Если в схеме используется линейный фильтр с передаточной функцией.

$$W(s) = \frac{T_1}{T} \cdot \frac{Ts + 1}{T_1s + 1} \quad (10)$$

То создаваемое им опережение

$$\alpha = \arctg \frac{\omega T(1 - \nu)}{1 + \omega^2 T^2 \nu} \quad (11)$$

где через ν обозначено отношение $\frac{T}{T_1}$.

Тогда, получаем для них следующие выражения:

$$a = \frac{\kappa}{\pi} (\pi - 2\alpha + \sin 2\alpha) \quad (12)$$

$$b = \frac{\kappa}{\pi} (1 - \cos 2\alpha) \quad (13)$$

Частотные характеристики корректирующего устройства при различных значениях параметра T фазового канала вычисляются по уже известным формулам (12) и (13), после того как найдены коэффициенты гармонической линеаризации.

В программном пакете MathCad были построены семейства ЛАЧХ и ФЧХ при значениях параметра $T1$ фазового канала $T1 = 1 \dots 100$ корректирующего устройства и при постоянном значении коэффициент K и T .

$$K=1, T=0.1, T1 = [100, 30, 10, 5, 1]$$

Коэффициенты гармонической линеаризации и графики АЧХ и ФЧХ с амплитудным подавлением показаны на рисунке 2, 3.

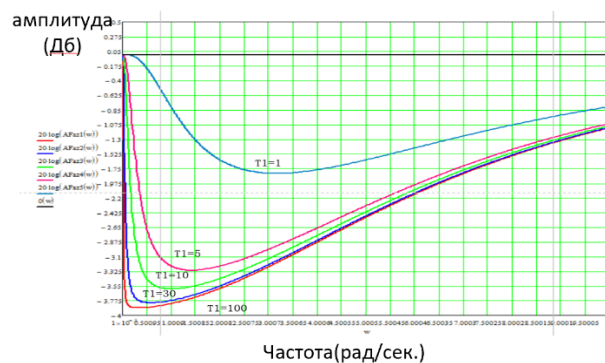


Рисунок 2 - Семейство ЛАЧХ КУ с фазовым опережением
при разных значениях параметра $T1$

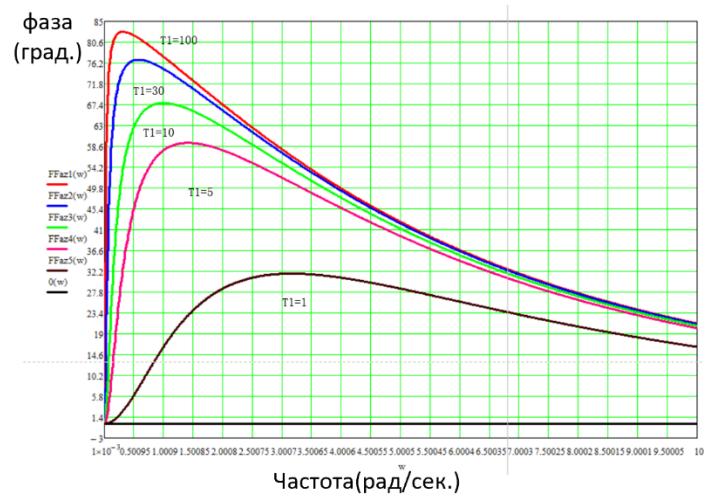


Рисунок 3 - Семейство ФЧХ КУ с фазовым опережением
при разных значениях параметра $T1$

2 РЕГУЛЯТОРЫ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Большинство технологических объектов характеризуется наличием чистого запаздывания в каналах регулирования. Запаздывание, возникающее при протекании потока вещества по длинным трубопроводам, носит название транспортного запаздывания. Запаздывание возможно и в результате использования в системе регулирования периодически действующих приборов или регуляторов – таких, как газовый хроматограф или цифровая вычислительная машина, включенная в цепь обратной связи.

Запаздывание – это свойство объекта изменять регулируемую величину не сразу после возмущения, а через некоторый промежуток времени – время запаздывания τ (сек).

2.1 Предиктор Смита

Для управления объектами с отношением $\frac{t_0}{t_{nn}} > 0.2 \dots 0.5$ используют регуляторы, содержащие блоки для предсказания и устранения поведения объекта на время транспортного запаздывания t_0 .

Впервые структура такого регулятора была предложена Смитом в 1957 году, поэтому данный регулятор в литературе называется предиктором Смита. Цель предиктора Смита – предсказать величину сигнала на выходе объекта до того, как он там появится на самом деле. За счет этого предсказания из модели исключается величина запаздывания, что даёт возможность прогнозирования поведения объекта до момента появления сигнала на выходе. Структурная схема предиктора Смита представлена на рисунок. 4.

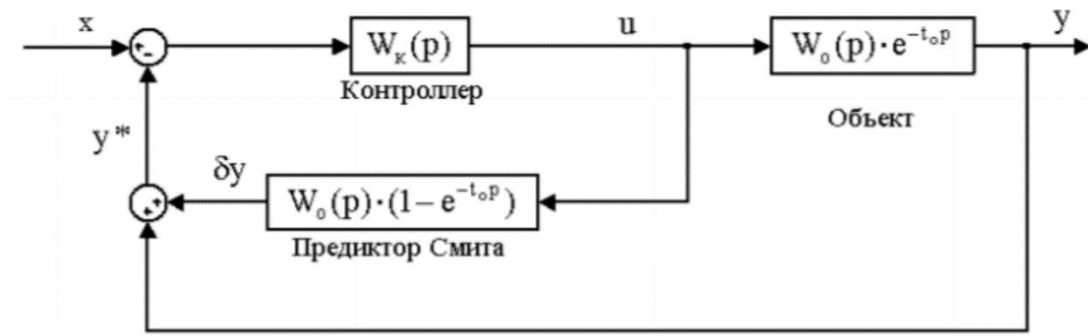


Рисунок 4 -Структурная схема классического предикатора Смита

Предиктор Смита имитирует разницу между моделью процесса с зоной нечувствительности и реальным объектом. Этот корректирующий сигнал добавляется к измеренному выходному сигналу, чтобы предсказать, какой сигнал был бы на выходе, если бы не было запаздывания. Прогнозируемое значение y^* подается на контроллер $W_k(p)$, который корректирует управляющее воздействие U .

2.2Регулятор Ресвика

Регулятор Ресвика (рисунок.5) предназначен для устранения транспортного запаздывания, которое приводит к неустойчивости замкнутых систем и затрудняет решение задачи синтеза.

Во внутренней положительной обратной связи регулятора Ресвика содержится звено чистого запаздывания, которое предсказывает величину выходного сигнала после изменения величины управляющего воздействия U . Это звено моделирует динамику объекта и постоянно компенсирует реальный выходной сигнал, поэтому из основного контура исключается чистое запаздывание t_0 . В случае неравенства запаздывания объекта t_0 и

моделируемого запаздывания $t_{0.мод}$, система может выйти за границы устойчивости.

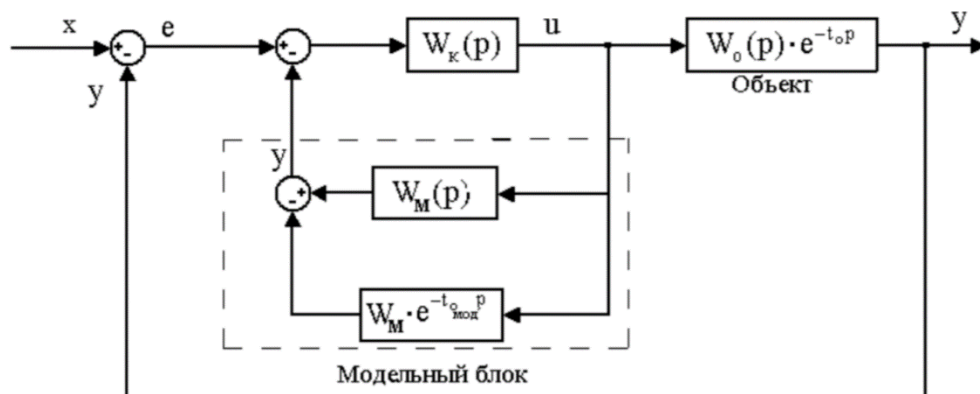


Рисунок 5 -Структурная схема регулятор Ресвика

3.РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ В СРЕДЕ MATLAB

В программном пакете MATLAB структурная схема системы автоматического регулирования с запаздыванием, состоящей из ПИД-регулятора и объекта управления первого порядка, выглядит следующим образом (рисунок 27):

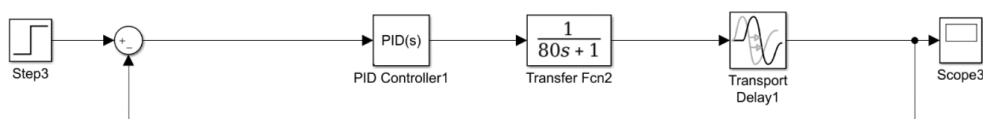


Рисунок 27– Структурная схема САУ в MATLAB

Зададим параметры ПИД-регулятора таким образом, чтобы система была устойчивой:

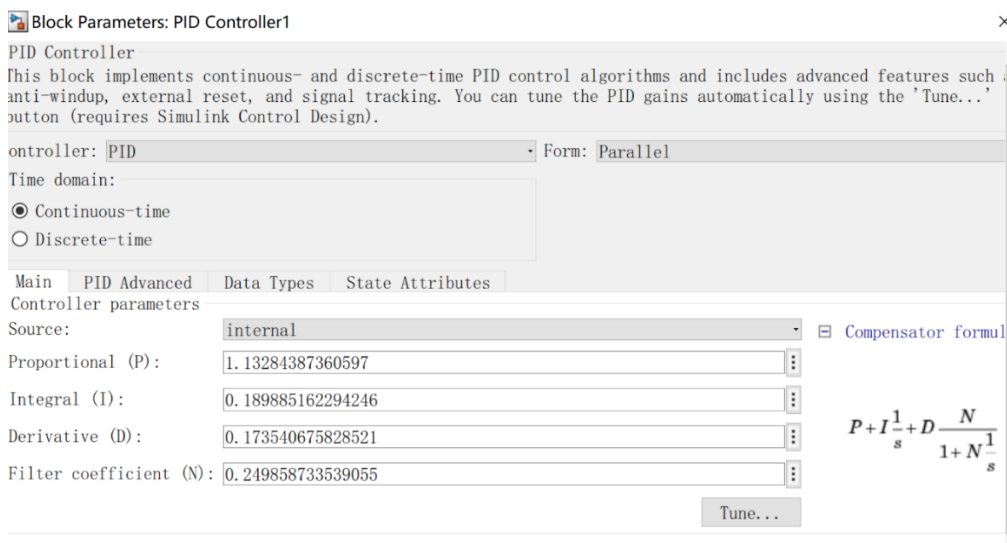


Рисунок 28 – Блок настройки параметров ПИД-регулятора

График переходной характеристики:

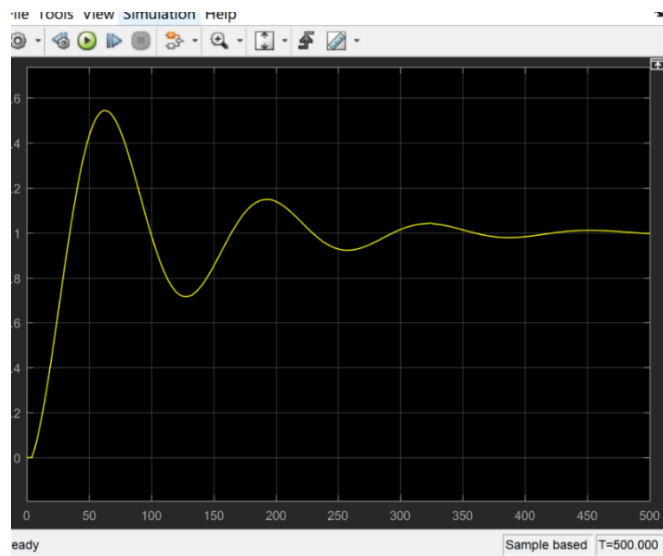


Рисунок 29– Кривая переходной характеристики САР

Следующим шагом является сборка структурной схемы САР с КУ (структура КУ с фазовым опережением), которая представлена на рисунке 30

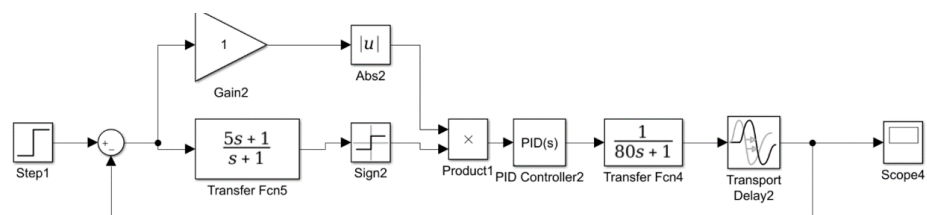


Рисунок 30– Структурная схема САР с КУ

Далее проводился анализ влияния изменения T на выходной сигнал, без изменения коэффициента TI .

$$T = [1, 10, 20, 50, 100] \quad TI = 1$$

Графики переходных процессов САР с КУ при различных значениях параметра T КУ представлен на рисунке 3.6.

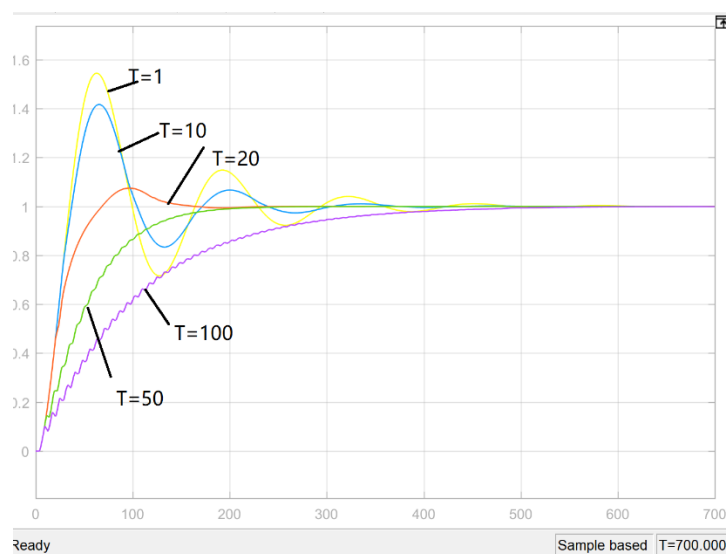


Рисунок 31– Графики переходных процессов САР с КУ при различных значениях параметра T КУ.

В результате анализа было выявлено, что чем больше коэффициенты T САУ с фазовым корректирующим устройством, тем меньше перерегулирование, а время регулирования больше.

Ниже приведен случай переходных процессов системы с постоянными значениями параметра T и T_I без КУ и с использованием КУ.

Допустим параметр объекта $T_I=1$, и $T=50$.

В программном пакете MATLAB структурная схема системы автоматического регулирования, состоящей из ПИД-регулятора и объекта управления первого порядка, модели которых без КУ и с использованием КУ выглядят следующим образом (рисунок 32):

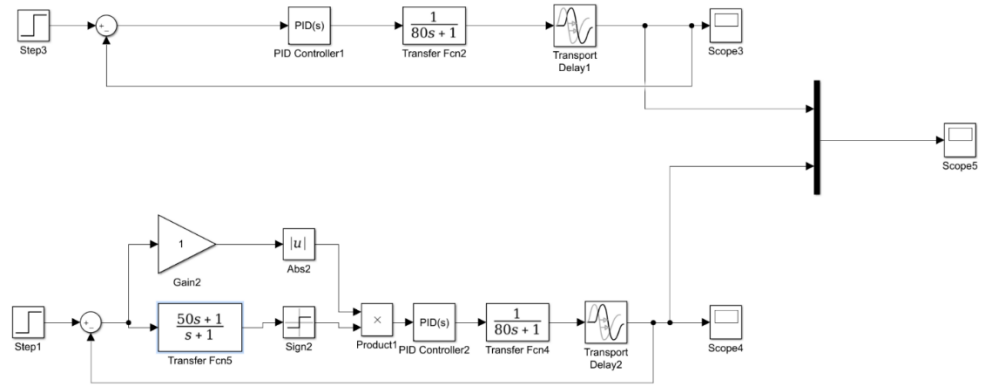


Рисунок 32 – Структурная схема САР без КУ и с использованием КУ в MATLAB

При $W_{op}(s) = \frac{1}{10s+1}$

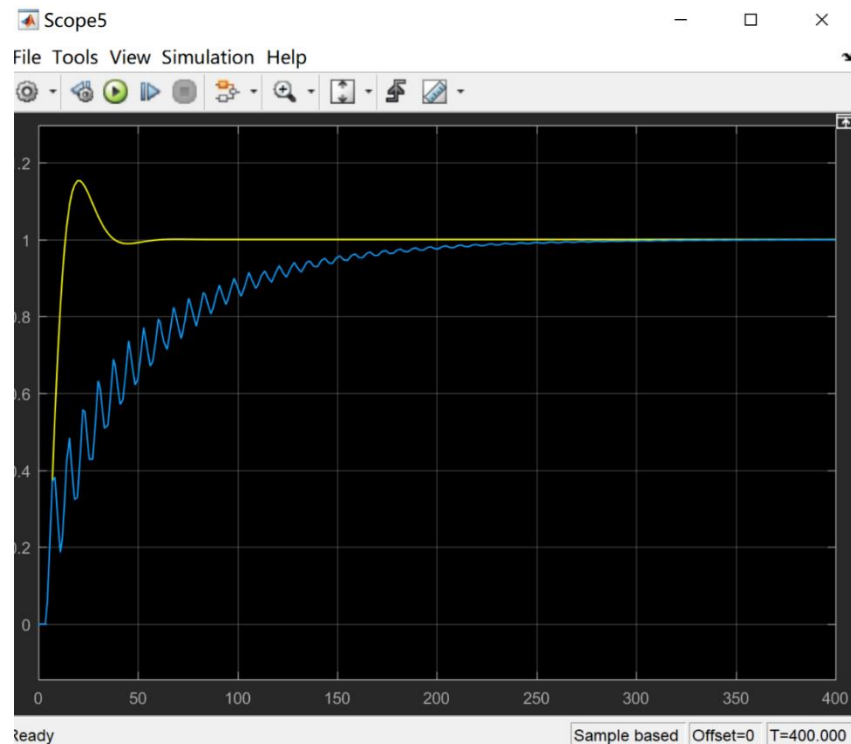


Рисунок 33 – Кривые переходных процессов системы с ПФ $W_{op}(s) = \frac{1}{10s+1}$:
кривые без КУ и с использованием КУ

При $W_{op}(s) = \frac{1}{80s+1}$

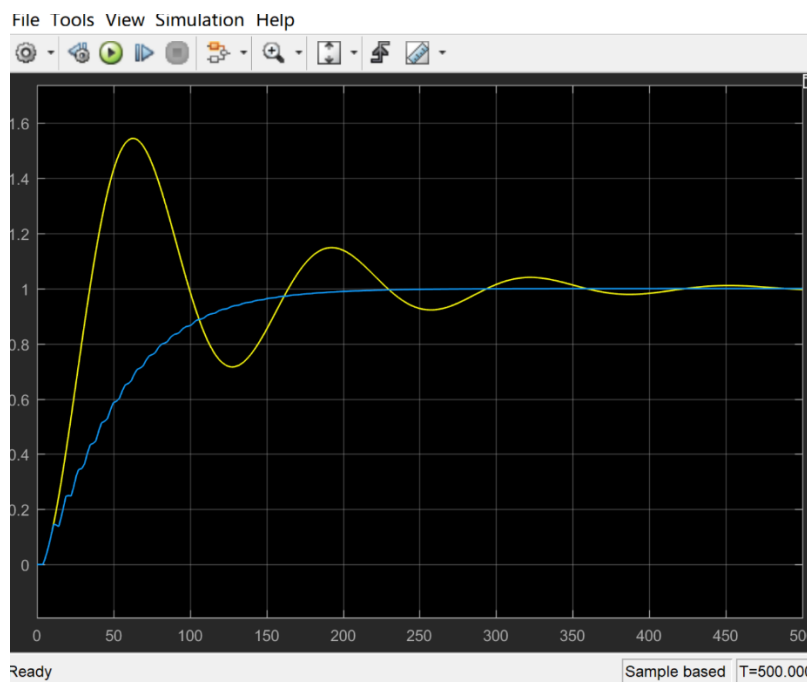


Рисунок 34 – Кривые переходных процессов системы с ПФ $W_{op}(s) =$

$\frac{1}{80s+1}$: кривые без КУ и с использованием КУ

Таким образом, применение корректирующего устройства позволяет повысить качество переходных процессов.

Рассмотрим возможности ПКУ в системе с запаздыванием. Системы с запаздыванием отличаются тем, что в одном или нескольких из своих звеньев имеют запаздывание во времени начала изменения выходной величины (после начала изменения входной) на величину τ , называемую временем запаздывания, причем это время запаздывания остается постоянным и во всем последующем ходе процесса. Запаздывание достигается введением в систему звена чистого запаздывания ($\tau = 1$ с).

При $W_{op}(s) = \frac{1}{80s+1}$

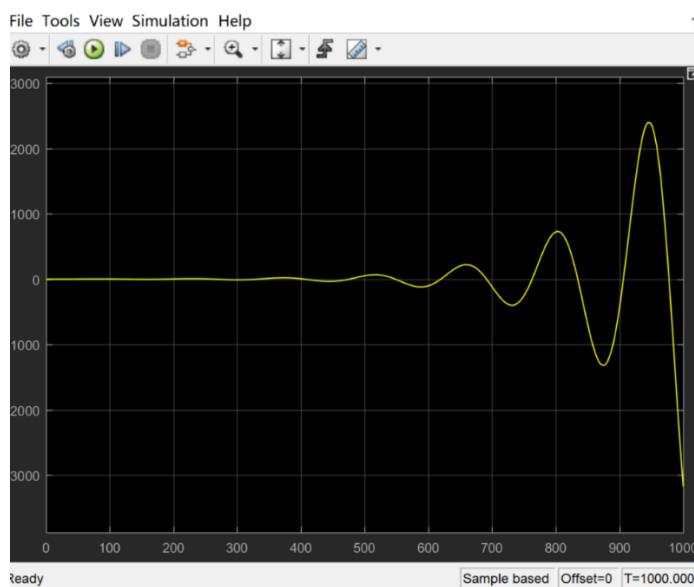


Рисунок 35 – График переходной характеристики системы с запаздыванием с ОУ первого порядка без использования КУ при $\tau=20$

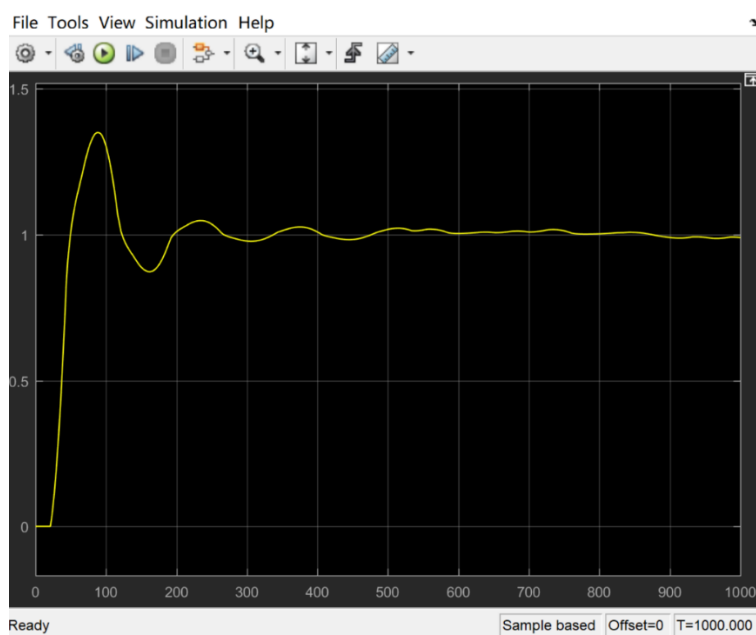


Рисунок 36 – График переходной характеристики системы с запаздыванием с ОУ первого порядка с КУ при $\tau=20$

При $W_{op}(s) = \frac{1}{25s^2 + 5s + 1}$

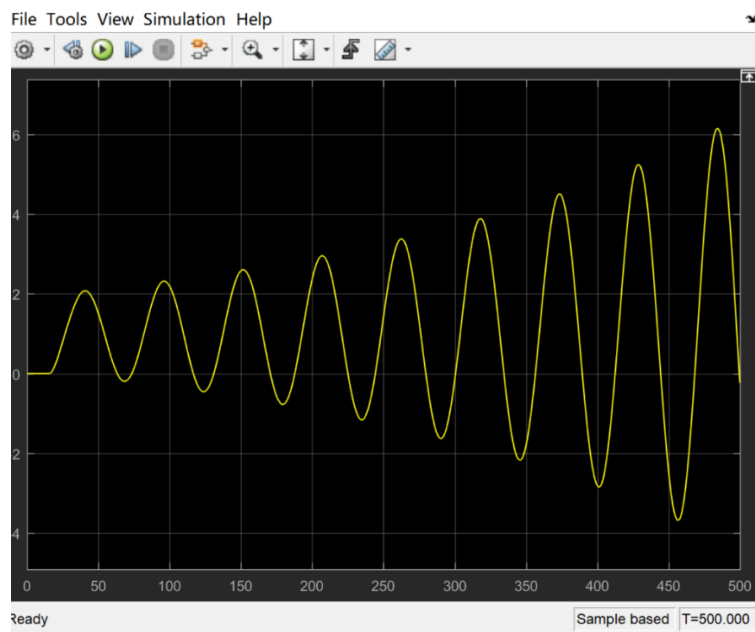


Рисунок 37 – График переходной характеристики системы с запаздыванием с ОУ второго порядка без использования КУ при $\tau=15$

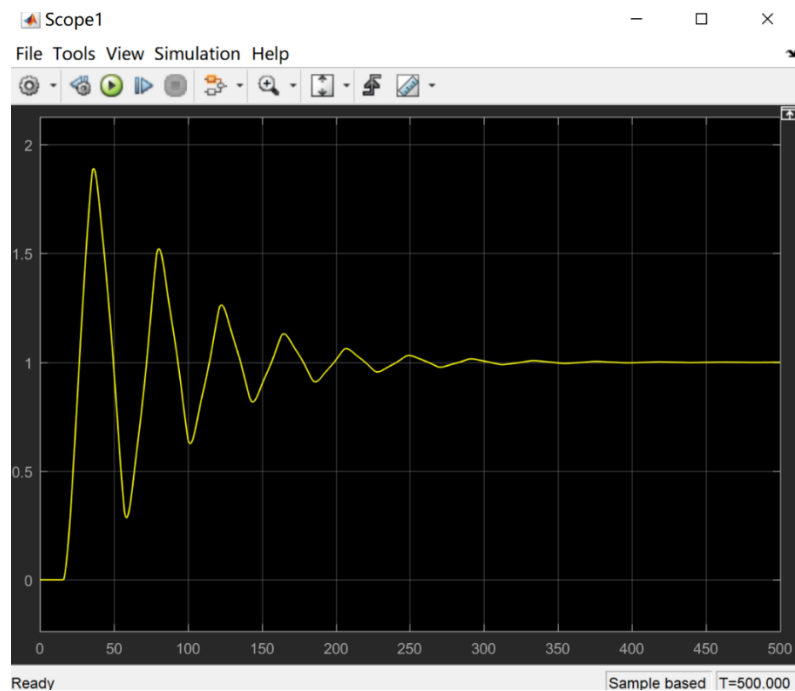


Рисунок 38 – График переходной характеристики системы с запаздыванием с ОУ второго порядка с КУ при $\tau=15$

Таким образом, В результате исследования было установлено, что для повышения качества САР с изменяющимися с течением времени параметрами запаздывания, целесообразно использовать псевдолинейный регулятор состоящий из ПИД-регулятора и Корректирующего устройства с фазовым опережением включенных последовательно.

Ниже рассмотрена работа на примере системы с запаздыванием с ОУ первого порядка с регулятором Ресвика.

В программном пакете MATLAB структурная схема системы автоматического регулирования, состоящей из ПИД-регулятора и объекта управления первого порядка, модели которых без регулятора Ресвика и с использованием регулятора Ресвика выглядят следующим образом (рисунок 39):

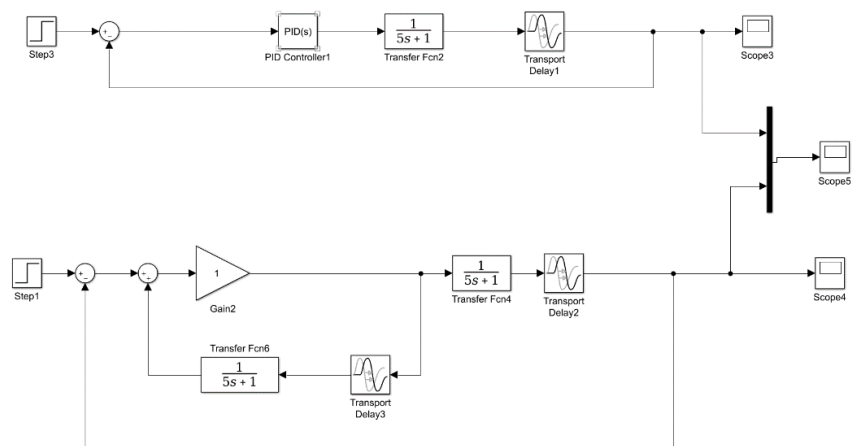


Рисунок 39 – Структурная схема САР без регулятора Ресвика и с использованием регулятора Ресвика в MATLAB

При $W_{op}(s) = \frac{1}{5s+1}$

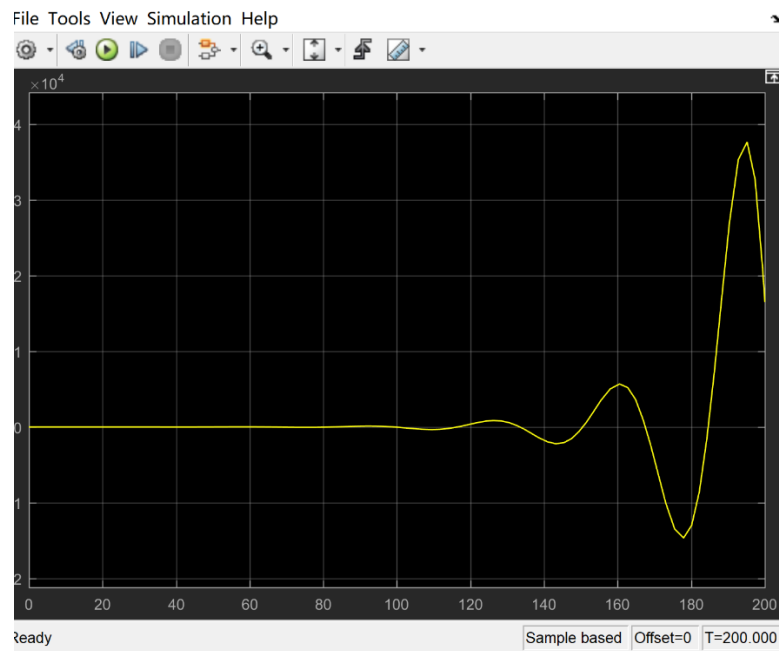


Рисунок 40 – График переходной характеристики системы с запаздыванием с ОУ первого порядка без использования регулятора Ресвика при $\tau=15$

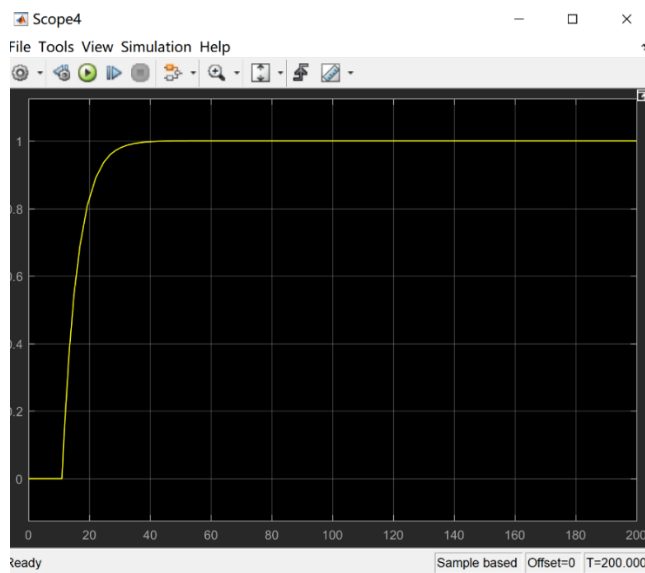


Рисунок 41 – График переходной характеристики системы с запаздыванием с ОУ первого порядка с регулятора Ресвика при $\tau=10$

4 СТРУКТУРА ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСА

Назначение данного лабораторного стенда – ввод аналогового сигнала, ввод/вывод дискретного сигнала, то есть реализация программно-логического управления САУ с дискретными сигналами и контроль за САУ с аналоговыми сигналами. На рисунке 43 представлена структурная схема лабораторного стенда, позволяющая исследовать контроллер SIMATIC S7-300.

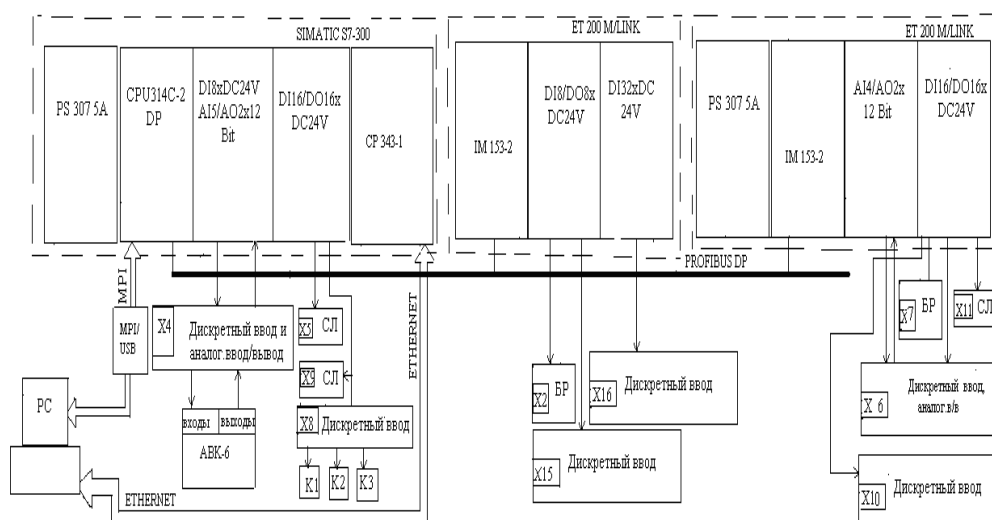


Рисунок 43 – Структурная схема лабораторного стенда контроллера S7 -300

Контроллер SIMATIC S7–300 – это модульный программируемый контроллер для решения задач автоматизации среднего и низкого уровня. Несколько типов центральных процессоров различной производительности и широкий спектр модулей различного назначения с множеством встроенных функций позволяют выполнять максимальную адаптацию оборудования к требованиям решаемой задачи. При модернизации и развитии производства контроллер может быть легко дополнен набором необходимых модулей. На рис. 43 приведена структурная схема лабораторного стенда, позволяющая исследовать контроллер SIMATIC S7-300. В данный лабораторный комплекс

входят модули контроллера: блок питания PS 307 5A (307-1EA00-0AA0), центральный процессор CPU 314C – 2DP (314-6CG03-0AB0 со встроенными модулями: дискретного ввода D18xDC24V и аналогового ввода/вывода AI5/AO2x12Bit, коммуникационный модуль CP343-1 для организации последовательной передачи данных по Ethernet интерфейсу, станции распределенного ввода ET200M/LINK (IM 153-2) с заказным номером 153-2BA02-0XB0, модули ввода-вывода дискретного сигнала DI 32xDC24V (321-1BL00-0AA0) и DI8/DO8xDC24V (323-1BH01-0AA0), модуль аналогового ввода/вывода AI4/AO2x12Bit (334-0KE00-0AB0), модуль дискретного ввода/вывода DI16/DO16xDC24V (323-1BL00-0AA0), а также 2 блока реле (X2, X7), АВК (аналогово-вычислительный комплекс) для создания математической модели САУ. Также на стенде присутствуют клеммные колодки для ввода/вывода аналоговых/дискретных сигналов. X4, X6, X8, X10, X15, X16 – обозначение клеммных колодок. Каналы модуля ввода аналогового сигнала поступают на клеммную колодку X4, где осуществляется ввод сигнала с АВК. Каналы модуля ввода дискретного сигнала поступают на колодки X15, X16, X8 и X10. На X8 осуществляется ввод дискретного сигнала при помощи кнопок. Каналы модуля вывода дискретного сигнала поступают на блоки реле X2 и X7, где осуществляется вывод дискретного сигнала при помощи сигнального табло. Тип клеммных соединений – “сухой контакт”.

5 Программный пакет STEP7

STEP 7 - это программное обеспечение для программирования,

используемый для промышленных продуктов управления Siemens, включая SIMATIC S7, M7, C7 и компьютерное программное обеспечение WinCC, мониторинга и настройки параметров, является важной частью промышленного программного обеспечения SIMATIC.

STEP 7 имеет следующие функции: конфигурация оборудования и параметры, конфигурация связи, программирование, тестирование, запуск и обслуживание, архивирование файлов, работа и диагностические функции.

Инструментальные средства STEP7, необходимые для выполнения всех этапов разработки проекта, а также последующей эксплуатации системы управления:

- SIMATIC Manager – ключевая программа STEP7, позволяющая выполнять управление всеми составными частями проекта, осуществлять быстрый поиск необходимых компонентов, производить запуск необходимых инструментальных средств.

- Symbol Editor – программа определения имен переменных, типов данных, ввода комментариев к переменным.

- Hardware Configuration – программа конфигурирования используемой в проекте аппаратуры.

- Communication – программа конфигурирования систем промышленной связи, использующих для обмена данными MPI интерфейс, сети PROFIBUS, PROFINET или Industrial Ethernet. Сеансы связи могут осуществляться циклически или запускаться по временным или аппаратным прерываниям.

- Информационные функции – для быстрого доступа к данным центрального процессора и управления режимами выполнения программы пользователя в ходе ее отладки.

Для разработки программ пользователя STEP7 позволяет использовать следующие способы их представления:

- Список инструкций (Statement List – STL). Программы, написанные на STL, занимают минимальный объем в памяти программ контроллеров и обладают наиболее высоким быстродействием.

- Диаграммы лестничной логики (Ladder Diagram – LAD). В отечественной литературе этот язык известен как язык релейно-контактных схем – РКС.

- Язык функциональных блоков (Function Block Control Diagram – FBD). Язык, позволяющий выполнять разработку программы по аналогии с разработкой функциональной схемы устройства управления, создаваемого на основе интегральных логических элементов, счетчиков, таймеров и т.д.[16]

В данной работе реализована САР с нечетким регулятором для объекта управления первого порядка в программном пакете STEP7, и проверена её работа под управлением контроллера SIMATIC S7-300.

Для реализации представленной САР объект управления моделировался на аналогово-вычислительном комплексе АВК - 6.

6 Система команд

STEP7 оснащен исчерпывающим набором инструкций, позволяющим легко и просто решать любые задачи автоматического управления. Этот набор инструкций включает в свой состав:

- логические операции (включая обработку фронтов);
- операции со словами;
- операции с таймерами и счетчиками;
- операции сравнения;
- операции преобразования типов данных;
- операции сдвига и вращения;
- математические функции (включая тригонометрические и экспоненциальные);
- функции управления ходом выполнения программы.

Для облегчения программирования может быть использован целый ряд дополнительных сервисных функций:

- установка точек прерывания;
- управление состоянием входов и выходов;
- переключение режимов работы;
- отображение перекрестных ссылок;
- поддержка мультипроцессорных конфигураций.

Функции состояний:

- Загрузка и тестирование блоков непосредственно в редакторе;
- Одновременный контроль состояний нескольких блоков;

- Функции поиска.

Доступна интерактивная помощь по всем функциональным блокам (F1).

7 Типы данных

Контроллеры SIMATIC S7 могут работать со следующими типами данных:

1. Элементарные типы данных (до 32 бит):

а. Битовые типы данных представлены следующими типами:

Бит (BOOL)

Бит - это единица, соответствующая одному двоичному разряду. Два возможных значения бита обозначаются “0” (FALSE) и “1” (TRUE).

Байт (BYTE)

Байт состоит из 8 бит, которым соответствуют битовые адреса от 0 до 7 (справа налево).

Старшим является бит с большим адресом. Байт могут образовывать только те биты, адрес младшего из которых кратен 8, например: 0, 8, 16 и т.д. В контроллерах SIMATIC S7 байт может интерпретироваться как просто байт набор бит) или как ASCII-символ.

Слово (WORD)

Слово - это следующая после байта по величине единица, ее длина 16 бит. Любые два соседних байта можно объединить в слово, старшим будет являться байт с меньшим адресом.

Адрес слова - это адрес байта с меньшим адресом. В контроллерах SIMATIC S7 слово может интерпретироваться как просто слово (набор бит), целое число со знаком, дата, время и т.д.

Двойное слово (DWORD)

Любые два соседних слова можно объединить в двойное слово, его длина - 32 бита или 4 байта. Старшим словом (байтом) является слово (байт) с меньшим адресом. Адрес двойного слова - это адрес байта с меньшим адресом. В контроллерах SIMATIC S7 двойное слово можно интерпретировать как просто двойное слово, длинное целое число со знаком, вещественное число в формате IEEE и т.д.

Char (литера)

Переменная типа CHAR (character, литера) занимает один байт. Тип данных CHAR представляет одну литеру в ASCII-формате, например, 'A'.

Работая с этим типом данных, вы можете использовать любую печатную литеру в апострофах.

в. Математические типы данных

INT (целое число)

Переменная типа INT (integer) хранится как целое число (16-битное число с фиксированной запятой или десятичной точкой). Тип данных INT не имеет специального идентификатора.

Целочисленная переменная занимает одно машинное слово. Сигнальные состояния битов с 0-го по 14-ый представляют цифровые разряды (позиции) числа. Сигнальное состояние 15-го бита представляет знак (sign, S).

DINT (двойное целое число)

Переменная типа DINT хранится как целое число (32-битное число с фиксированной запятой). Целое сохраняется в DINT-переменной, когда оно превышает 32 767 или меньше -32 768, или когда число предваряется идентификатором типа L#.

Под переменную типа DINT отводится двойное слово. Сигнальные состояния битов с 0-го по 30-ый представляют цифровые позиции числа. Знак хранится в 31-м бите.

REAL (вещественный)

Переменная типа REAL представляет дробь и хранится как 32-битное число с плавающей запятой (десятичной точкой). Целое сохраняется как переменная типа REAL при добавлении десятичной точки и тая.

В экспоненциальном представлении вы можете предварить “e” или “E” целым числом или дробью из семи соответствующих чисел и знака. Цифры, которые расположены за “e” или “E” представляют экспоненту по базе 10. STEP7 производит преобразование REAL-переменной во внутренне представление числа с плавающей точкой.

с. Временные типы данных представлены следующими типами:

S5TIME

Переменная типа S5TIME используется в базовых языках STL, LAD и FBD для установки таймеров системы SIMATIC. Она занимает одно 16-битное слово с 1 + 3 декадами.

Время устанавливается в часах (hours), минутах (minutes), секундах (seconds) и миллисекундах (milliseconds).

DATE (Дата)

Переменная типа DATE хранится в машинном слове как число с фиксированной точкой без знака. Содержимое переменной соответствует количеству дней, начиная с 01.01.1990. Ее представление показывает год, месяц и день, разделенные дефисом.

TIME (Время)

Переменная типа TIME резервирует одно двойное слово. Ее представление содержит информацию о днях (d), часах (h), минутах (m), секундах (s) и миллисекундах (ms), отдельные элементы этих данных могут быть опущены. Содержимое переменной интерпретируется в миллисекундах (ms) и хранится как 32-битное число с фиксированной точкой со знаком.

TIME_OF_DAY (Время суток)

Переменная типа данных TIMEOFDAY резервирует для себя одно двойное слово. Она содержит количество миллисекунд с начала суток (со времени 00:00) в виде числа с фиксированной точкой без знака. Ее представление содержит информацию о часах, минутах и секундах, разделенных двоеточием. Миллисекунды, которые следуют за секундами, отделены от них десятичной точкой. Миллисекунды могут отсутствовать.

2. Сложные типы данных (более чем 32 бита):

STEP7 определяет следующие четыре сложных типа данных:

- **DATE_AND_TIME** (DT, Дата и время) Дата и время (в формате BCD-числа);
- **STRING** (Строка) Строка литер длиной до 254 знаков;
- **ARRAY** (Массив) Переменная-массив (совокупность переменных одного типа);
- **STRUCT** (Структура) Переменная-структура (совокупность переменных разных типов).

Типы данных предопределяются пользователем при их использовании: задается длина в типе **STRING** (строка литер), сочетание и размер в типах **ARRAY** и **STRUCT** (структура).

3. Типы данных определенные пользователем (более чем 32 бита):

User data type - **UDT** (Пользовательский тип данных) соответствует структуре (комбинация компонентов любых типов) с действием на глобальном уровне. Вы можете воспользоваться пользовательским типом данных, если в вашей программе часто фигурирует структурный тип и переменные, или вы хотите структуре данных присвоить имя.

Типы **UDT** обладают глобальным действием; то есть, они описываются один раз и доступны для использования во всех блоках.

При объявлении переменных определяются следующие их свойства:

- символическое имя;
- тип данных;
- видимость переменной.

Переменные могут быть объявлены:

- в глобальной символьной таблице (элементарные типы данных);
- в таблице описаний глобального блока данных (все типы данных);
- в таблице описаний логического блока (ОВ, FB и FC).

8 Обзор битовых логических инструкций

Битовые логические инструкции работают с двумя числами, 1 и 0. Эти две цифры образуют базис системы счисления, называемой двоичной системой. Цифры 1 и 0 называются двоичными цифрами (binary digits) или просто битами. При работе со схемами, использующими контакты и катушки, значение 1 означает активное состояние или протекание тока, а 0 – неактивное состояние или отсутствие протекания тока.

Битовые логические инструкции интерпретируют состояния сигналов 1 и 0 и комбинируют их по правилам булевой логики. Эти комбинации дают результат 1 или 0, называемый “результатом логической операции” (RLO).

Для приложений битовой логики используются следующие битовые логические инструкции:

- “И”;
- “ИЛИ”;
- “ИЛИ-НЕ”;
- “ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ”;
- “ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ – НЕ”;
- “=” - присвоение;
- “R” - сброс;

- “S” - установка;

Для изменения результата логической операции Вы можете использовать следующие:

- NOT - инверсия RLO;
- SET - установка RLO в 1;
- CLR - сброс RLO в 0;
- SAVE - сохранение RLO в BR регистре.

Другие инструкции реагируют на появление нарастающего или падающего фронта RLO:

- FN Выделение падающего фронта RLO;
- FP Выделение нарастающего фронта RLO.

Обзор инструкций сравнения

Аккумуляторы 1 (ACCU1) и 2 (ACCU2) сравниваются в соответствии с выбранным Вами типом сравнения :

- == ACCU1 равен ACCU2;
- <> ACCU1 не равен ACCU2;
- > ACCU1 больше ACCU2;
- < ACCU1 меньше ACCU2;
- >= ACCU1 больше или равен ACCU2;
- <= ACCU1 меньше или равен ACCU2.

Если условие сравнения выполняется, то RLO получает значение “1”. Биты слова состояния CC1 и CC0 изменяются в соответствии с выполняемыми инструкциями сравнения на “меньше”, ”равно” или ”больше”.

Вы можете использовать следующие типы сравнения:

- I: Сравнение чисел типа Integer (16-битовых);
- D: Сравнение чисел типа Double Integer (32-битовых);
- R: Сравнение чисел с плавающей точкой (32-битовых).

Обзор операций со счетчиками

Счетчики являются функциональным элементом языка программирования STEP7 функций счета. Счетчики имеют область, зарезервированную для них в памяти CPU. Эта область памяти резервирует по одному 16-битному слову для каждого адреса счетчика.

При программировании в STL Вы можете адресоваться к 256 счетчикам. Инструкции счета являются единственными функциями, которые имеют доступ к области памяти счетчиков. Вы можете изменять значение счетчика, используя следующие инструкции:

- “FR” - деблокировка счетчика;
- “L” - загрузка текущего значения счетчика в ACCU 1;
- “LC” - загрузка текущего значения счетчика в BCD-коде в ACCU 1(с плавающей запятой);
- “R” - сброс счетчика;
- “S” - установка счетчика на заданное значение;
- “CU” - прямой счет;
- “CD” - обратный счет.

Обзор инструкций перехода

Вы можете использовать инструкции перехода для управления ходом выполнения программы, позволяя ей прерывать последовательную процедуру выполнения и возобновить обработку с другого места. Вы можете использовать инструкцию циклического выполнения LOOP для обработки участка программы несколько раз подряд.

Операндом команды перехода и циклического выполнения является метка. Метка может состоять из четырех символов, первый из которых должен быть буквой. Метка перехода должна заканчиваться двоеточием “:” и ставиться в строке, содержащей инструкцию. Вы можете использовать следующие инструкции перехода для безусловного прерывания линейного выполнения программы:

- “JU” - безусловный переход;
- “JL” - распределенный переход.

Вы можете использовать следующие инструкции условного перехода в зависимости от результата логической операции (RLO) предыдущей логической инструкции:

- “JC” - переход при $RLO = 1$;
- “JCN” - переход при $RLO = 0$;
- “JCB” - переход при $RLO = 1$ с сохранением в BR;
- “JNB” - переход при $RLO = 0$ с сохранением в BR.

Следующие инструкции выполняют условный переход в зависимости от результатов вычислений:

- “JZ” - переход при нулевом результате;

- “JN” - переход при ненулевом результате;
- “JP” - переход при положительном результате;
- “JM” - переход при отрицательном результате;
- “JPZ” - переход при неотрицательном результате;

9 Программа реализации системы автоматического регулирования с запаздыванием с псевдолинейным регулятором на языке программирования FBD в пакете STEP7

Для реализации представленной САР передаточные функции элементов были преобразованы в последовательность элементарных математических операций, легко реализуемых на языке FBD в STEP 7.

Передаточная функция регулятора:

$$W_P(s) = k_{PEG} \cdot \left(k_{II} + \frac{1}{T_H s} + \frac{k_D T_D s}{T_D s + 1} \right) \quad (25)$$

где $k_{PEG} = k_{II}$, $T_H = \frac{k_{PEG}}{k_{II}}$, $T_D = \frac{k_D}{k_{PEG}}$.

Дифференциальное звено регулятора в виде совокупности элементарных

звеньев: $\frac{Kd \cdot s}{Td \cdot s + 1} = \frac{Kd}{Td} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{Td} \cdot \frac{1}{s}}$.

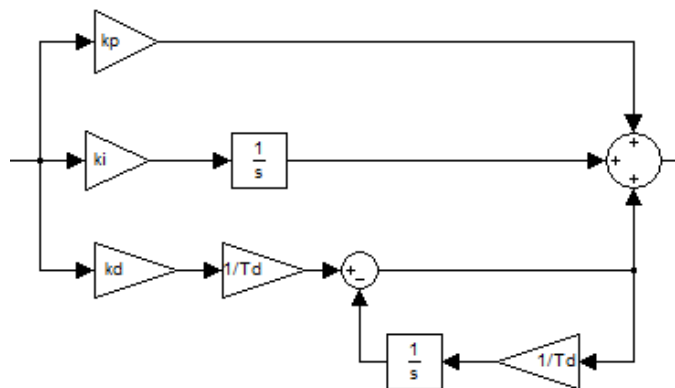


Рисунок 44 – Структура ПИД-регулятора в виде совокупности элементарных звеньев

Интегрирующий канал регулятора реализуется следующим образом:

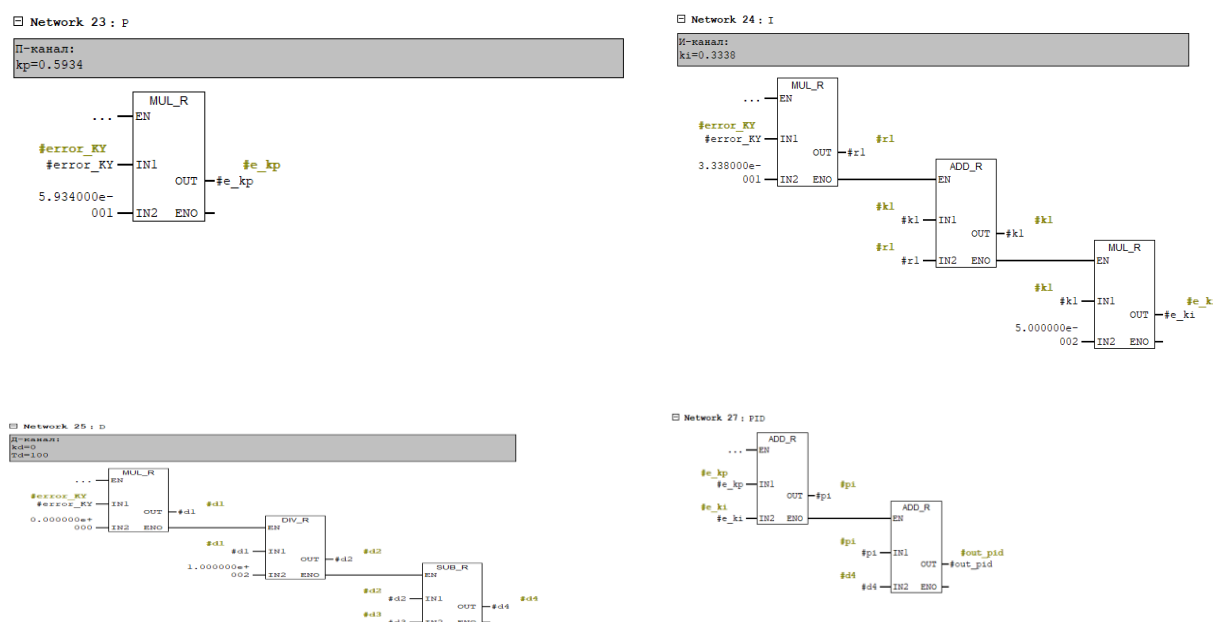


Рисунок 45 – Представление интегрирующего канала регулятора

Интегратор заменяется суммой с определенным шагом дискретизации.

Шаг дискретизации примем равным 0.05 .

Так как, ПИД-регулятор реализует в STEP 7 представлен на рисунке 46.



рисунке 46 - Сегменты программы реализации ПИД-регулятор в STEP 7

Передаточная функция ОУ (второго порядка)

преобразуется в последовательность элементарных математических операций следующим образом:

$$W_{oy}(s) = \frac{K}{T_1 s^2 + T_2 s + 1} = K \cdot \frac{1}{s^2} \cdot \frac{1}{T_1} \cdot \frac{1}{1 + \frac{T_2}{T_1} \frac{1}{s} + \frac{1}{T_1} \frac{1}{s^2}} \quad (26)$$

Структурная схема ОУ в виде совокупности элементарных звеньев будет выглядеть согласно рисунку 47:

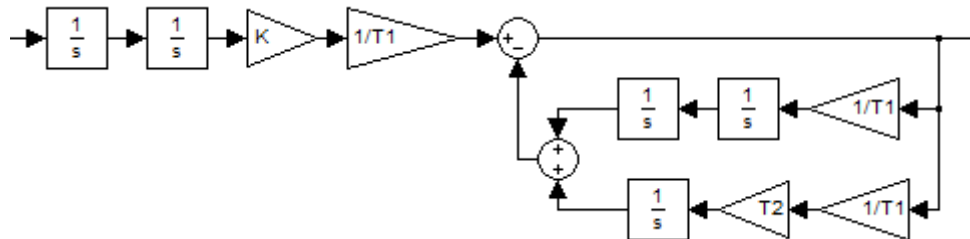
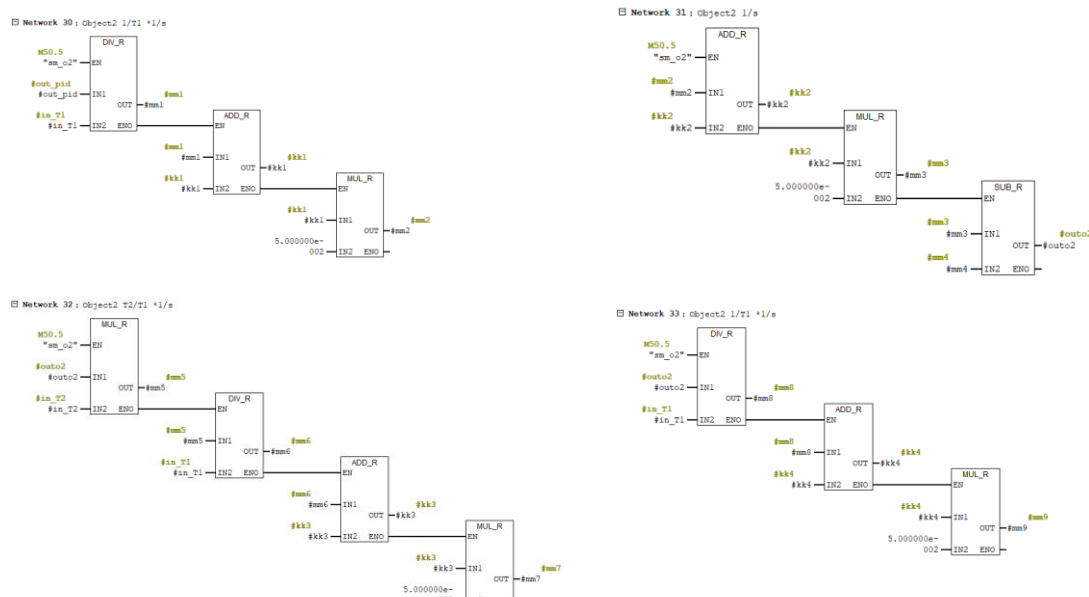


Рисунок 47 – Структурная схема ОУ в виде совокупности элементарных звеньев

Программы реализации объект второго порядка представлено на рисунке 48.



рисунке 48 - Сегменты программы реализации объекта второго порядка

Передаточные функции фазового каналов КУ:

Передаточная функция корректирующих устройств с фазовым

опережением $W_{\phi}(s) = \frac{Ts + 1}{T_1s + 1}$, представленная в виде последовательности

элементарных математических операций $W_{\phi}(s) = \frac{1}{T_1} \cdot \left(T + \frac{1}{s}\right) \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{T_1} \cdot \frac{1}{s}}$

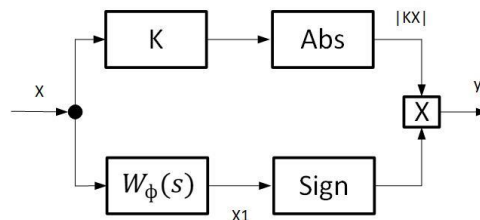


Рисунок 49 - Схема псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением

Псевдолинейное КУ с фазовым опережением, структура которого представлена на рисунке 49, реализовано в отдельном функциональном блоке. Текст программы, описывающий работу КУ приведен ниже.

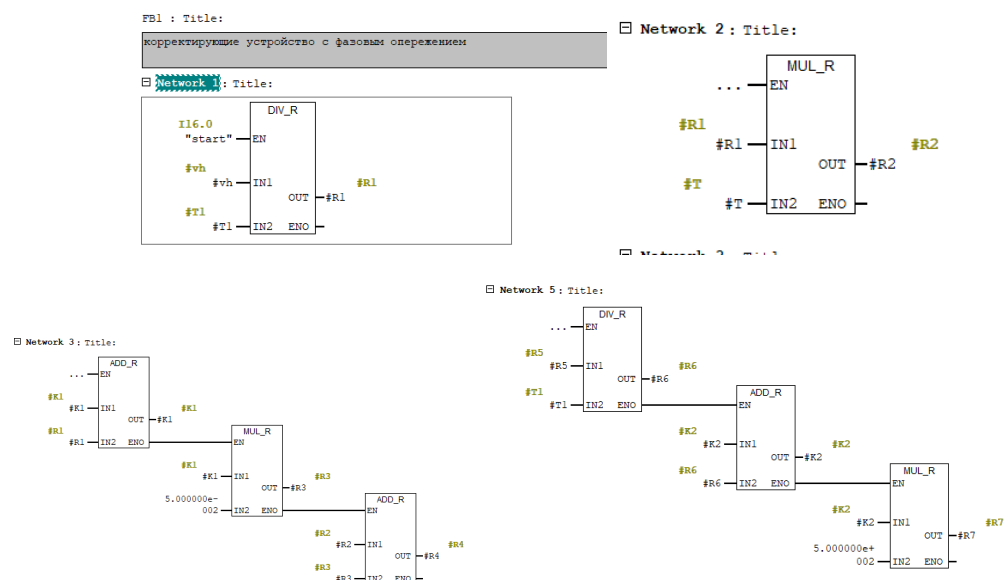


Рисунок 50— Сегменты программы реализации псевдолинейного КУ, описывающие передаточную функции фазового опережения

Функция знака *sign* в фазовом опережении, представленная в виде последовательности элементарных математических операций:

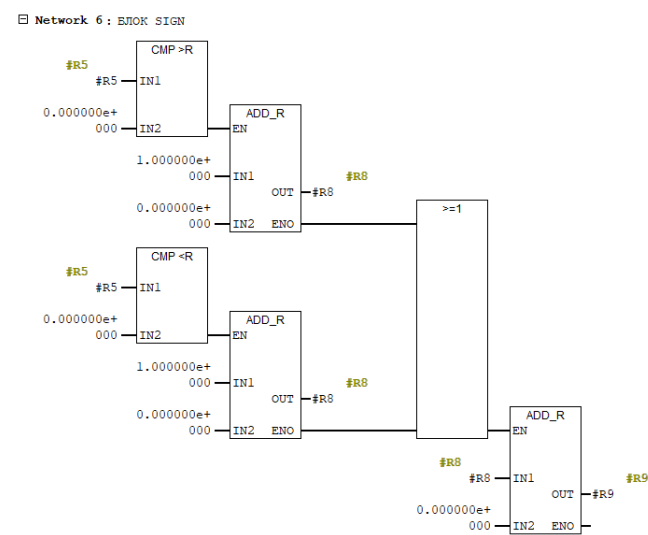


Рисунок 51 – Сегмент программы реализации псевдолинейного фазового КУ, описывающий функцию знака *sign*

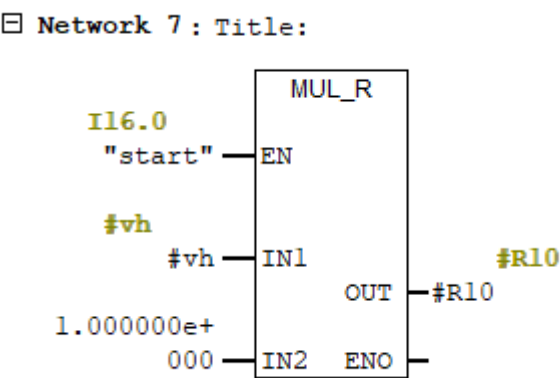


Рисунок 52 Сегмент программы реализации псевдолинейного фазового КУ, описывающий усилителя

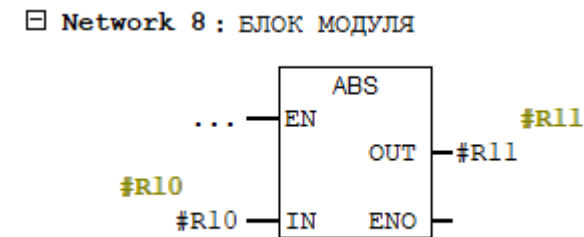


Рисунок 53– Сегмент программы реализации псевдолинейного фазового КУ, описывающий блок модуля

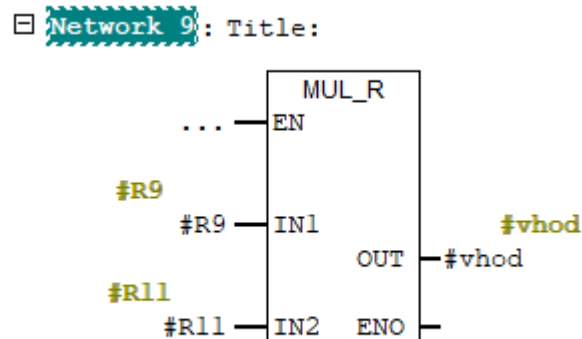


Рисунок 54 – Сегмент программы реализации псевдолинейного фазового КУ, описывающий блок умножения

Для запуска симулятора в панели инструментов пакета STEP7 необходимо использовать инструмент Simulation.

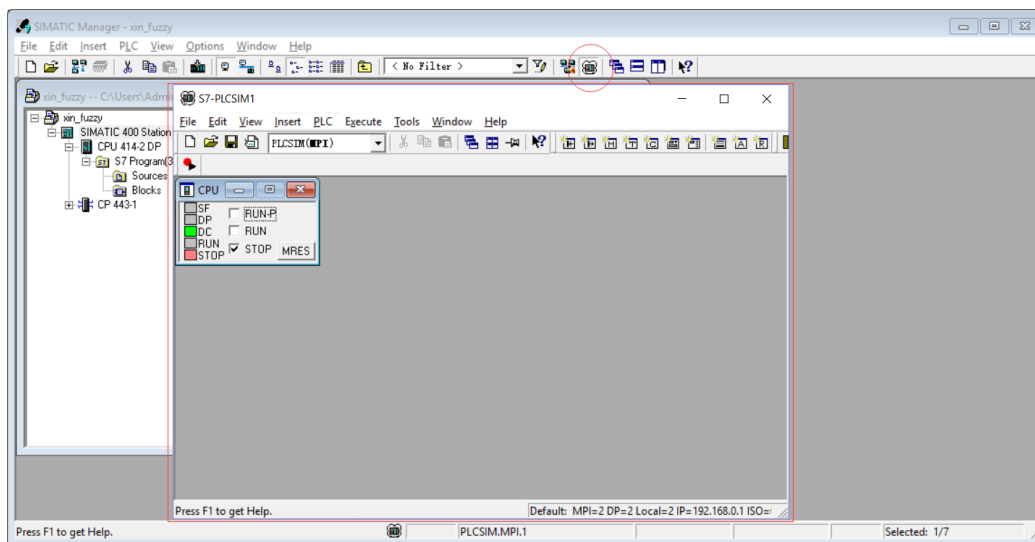


Рисунок 55 – Окно PLCSIM

Потом в меню ‘Options’ необходимо найти подменю ‘SET PG/PC Interface’ интерфейс и выбрать PLCSIM.MPI.

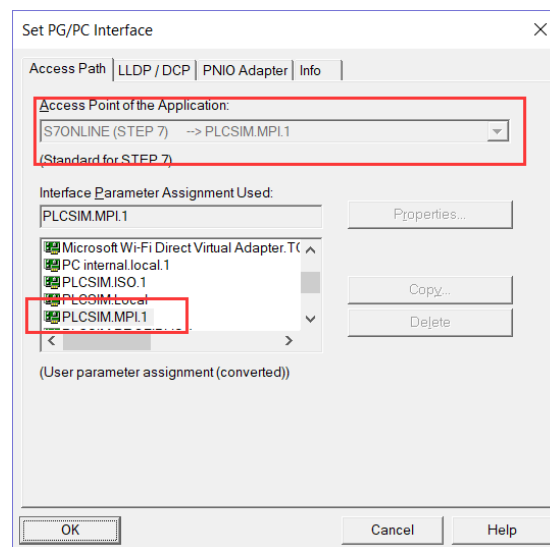


Рисунок 56 – Окно SET PG/PC Interface

10 Задание на лабораторную работу

1. Проанализировать характеристики псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением;
2. Разработать и исследовать свойства систем управления с запаздыванием с псевдолинейным регулятором в среде matlab;
3. Реализовать и визуализировать системы автоматического управления с псевдолинейным регулятором на языке программирования FBD в пакете STEP 7.

Задание:

1. Согласно примеру, в программном пакете MathCad построить семейства ЛАЧХ и ФЧХ при постоянном значении параметра T фазового канала корректирующего устройства и при разных значениях коэффициента передачи K ;
2. В программном пакете MatLab разработать и исследовать свойства систем управления с запаздыванием с псевдолинейным регулятором;
3. Использовать программное обеспечение Step7 для создания программы автоматического управления с запаздыванием с псевдолинейным регулятором.

11. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по выполненной лабораторной работе должен содержать следующие пункты:

1. Цель работы;
2. Структурная схема лабораторного стенда ;
3. Задание;
4. Диаграмма функциональных блоков программы псевдолинейного регулятора;
5. Ответы на контрольные вопросы;
6. Выводы по лабораторной работе.

12 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите преимущества и недостатки псевдолинейного регулятора.
2. Какие языки программирования используются в пакете Step7?
3. Как реализовать корректирующее устройство с псевдолинейным регулятором в пакете Step7?

Учебное издание

Дай Сюэсун

Изучение псевдолинейного регулятора для объектов управления с запаздыванием

Методические указания к выполнению лабораторной работы № _ по курсу
«Адаптивные системы управления» для студентов, обучающихся по
направлению 27.04.04 «Управление в технических системах»